

TÜBİTAK

2007-611
✓

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu
Environment, Atmospherical, Earth and Marine Sciences Research Grant Group

95963

Proje No: 104Y323

**Tahtalı Baraj Gölü'nde Hidrodinamik Çevrimin
Modellenmesi ve Düşeyde Akım Profiline Sıcaklıkla
İlişkilendirilmesi**

Yrd.Doç.Dr. Şebnem Elçi

Dr. Suzan Gök

Dr. İlker Atış

Aslı Erdenir Silay

KASIM 2007

İZMİR

ÖNSÖZ

Mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi canlı hayatının devamı ve ekosistemin korunabilmesi için şarttır. Nüfusun artması ve kirlenme sonucu azalan mevcut kaynakların korunması günümüzde küresel iklim değişikliği baskısı altında daha da önem kazanmaktadır. İçme suyu sağlayan baraj haznelerinin iyi yönetilebilmesi hidrodinamik davranışının iyi anlaşılmasına bağlıdır. Bu çalışmada, ısı etkisiyle tabakalaşmanın olduğu Tahtalı baraj gölünde, hidrodinamik çevrimin hidrolojik ve meteorolojik özelliklere göre nasıl değiştiği gölde yapılan ölçümlerle gözlemlenmiş ve 3 boyutlu nümerik modeli kurularak modellenmiştir. Yaz aylarında sıcaklıkla oluşan tabakalaşmanın su kalitesine ve hidrodinamik çevrime etkileri incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Söz konusu çalışma TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) tarafından 104Y323 no'lu proje kapsamında desteklenmiş olup; İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nden (İZSU) Dr.Suzan Gök ve Devlet Su İşleri 2. Bölge Müdürlüğü'nden Dr.İlker Atış ve Aslı Erdenir Sılay araştırmacı olarak görev almışlardır. Katkıları dolayısıyla TÜBİTAK'a ve bu kurumlara şükranlarımızı sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde özellikle veri toplama ve analizi kısmında emeği geçen yüksek lisans öğrencilerim Anıl Çalışkan, Ramazan Aydın ve Aslı Bor'a ve göl ölçümleri esnasında bize destek veren başta Gökhan Saçın olmak üzere tüm İZSU personeline teşekkür ederim.

Yrd.Doç.Dr.Şebnem Elçi
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	6
ABSTRACT	7
1. GİRİŞ.....	8
2. ÇALIŞMA SAHASI: TAHTALI BARAJ GÖLÜ	11
2.1 Zemin Dane Dağılımı Analizi	14
2.2 Gölün Dolum Öncesi Toprak Haritasının Çıkarılması.....	15
2.3 Gölün Derinlik Haritasının Çıkarılması	18
3. AKIM VE SU KALİTESİ PARAMETRELERİ ÖLÇÜMLERİ	21
4. TABAKALAŞMANIN BOYUTSUZ PARAMETRE YARDIMIYLA İRDELENMESİ	26
5. TABAKALAŞMANIN NÜMERİK MODEL YARDIMIYLA İRDELENMESİ.....	27
6. GÖLDEN ÇEKİLEN SUYUN TABAKALAŞMAYA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	33
7. TABAKALAŞMANIN SU KALİTESİ PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZ YOLUYLA İNCELENMESİ	36
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
9. REFERANSLAR.....	45
10. TÜBİTAK PROJE ÖZET BİLGİ FORMU.....	47

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Tahtalı Gölü nümerik modeli derinlik haritası. Şekilde görülen koyu renkli bölgeler, göldeki en derin bölgelerdir ve yaklaşık 32 m'dir.	12
Şekil 2. Tahtalı Gölü'nde ölçülmüş olan 2006 yılına ait göl su seviyesi, gölden çekilen su miktarı, buharlaşma ve yağmur verileri.	13
Şekil 3. Tahtalı Gölü'nde ölçülmüş olan 2006 yılına ait su sıcaklık profilleri.	13
Şekil 4. Şaşal ve Tahtalı dereleri ile Tahtalı baraj gölü tabanındaki malzemenin dane dağılımı.	14
Şekil 5. Göl alanının sular altında kalmadan önceki arazi kullanım durumu.....	16
Şekil 6. Göl alanında sular altında kalmadan önce bulunan toprak grupları.....	17
Şekil 7. Derinlik ölçmede kullanılan 320 B/P Model çift frekanslı (28/200kHz) sistem	18
Şekil 8. Topoğrafik haritalardan elde edilen göl dolum öncesi derinlik haritası	19
Şekil 9. Derinlik ölçer kullanılarak ölçülen değerlerle oluşturulan derinlik haritası	20
Şekil 10. Dolum öncesi derinlik haritası ile derinlik ölçer kullanılarak ölçülen değerlerin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilen fark haritası.....	20
Şekil 11. Çalışmada kullanılan aletler (a) Su kalitesi ölçer (b) Akustik Dopler Akım Profili Ölçer (Rivercat) (c) Akustik Dopler Hız Ölçer (Flowtracker)	22
Şekil 12. Tahtalı Gölü'nde Ağustos (2006) ayında yapılan sıcaklık, çözünmüş oksijen ve iletkenlik ölçümlerinin derinlikle değişimi	24
Şekil 13. Tahtalı Gölü'nde Ağustos (2006) ayında yapılan iletkenlik ve pH ölçümlerinin derinlikle değişimi.....	25
Şekil 14 Tahtalı Gölü'ndeki hava istasyonu kayıtlarından alınan rüzgar, solar radyasyon ve sıcaklık verileri.	29
Şekil 15. 28.09.2006 tarihinde ölçülen hız vektörleri ile model hız vektörlerinin karşılaştırılması. z/h boyutsuz derinliktir ve sıfıra eşit olduğu nokta su yüzeyidir.....	30
Şekil 16. Su yüzeyinin 11 m altında ölçülen su sıcaklıkları ile model su sıcaklıklarının karşılaştırılması. (a) grafiği Ağustos ayına ait ölçümleri, (b) grafiği ise Kasım ayına ait ölçümleri göstermektedir.....	31
Şekil 17. Ağustos ve Ekim aylarına ait su sıcaklık profillerinin karşılaştırılması.	32
Şekil 18. Tabakalaşma olan ve tabakalaşma olmayan modellerin hız vektörlerinin karşılaştırılması. U ve V değerleri birbirine dik farklı yönlerdeki hız vektörlerinin ifadesidir.	32

Şekil 19. Tahtalı Gölü haritasının modelde kullanılan koordinatlarla beraber gösterimi. Su alma yapısı nokta ile gösterilen yerdedir ve çekilen suyun göldeki etkilerinin araştırılması için modellenen alan kare içerisine alınmıştır.....	33
Şekil 20. Su sütununda, tabakalaşmış bölgede oluşan (h= 44 m ile h= 40 m arası) su çekilmeden önceki ve sonraki modellerin sıcaklık farkları. Şekilde (h), deniz seviyesinden olan yüksekliği ifade etmektedir. Modellemeler, Ağustos ayına ait iklim şartları kullanılarak yapılmıştır. Ağustos ayı içerisinde göldeki su seviyesi 54 m'dir. Su alma yapısı, x = 508000; y = 4222500 koordinatları üzerindedir. Şekilde renkler gri tondan beyaz tona gittikçe sıcaklık artmaktadır.....	35
Şekil 21. Sıcaklık ve çözülmüş oksijenin değişimi. Veriler 30 dakikada bir toplanmıştır.....	37
Şekil 22. Rüzgar hızı ve bulanıklığın oksijenin değişimi. Veriler 30 dakikada bir toplanmıştır.	39
Şekil 23. Bağımlı (X) değişkenleri (su kalitesi parametreleri) arasındaki korelasyon.....	40
Şekil 24. Bağımlı (X) değişkenleri (su kalitesi parametreleri) ile bağımsız (Y) değişkenleri (meteorolojik veriler) arasındaki korelasyon. Şekillerde Tw su sıcaklığını, Ta hava sıcaklığını, dT günlük sıcaklık farkını göstermektedir.	42

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Nümerik modelde kullanılan düşeydeki boyutsuz tabaka kalınlıkları. Tablodaki bir numaralı tabaka numarası, göldeki en alt tabakayı temsil etmektedir.	28
Tablo 2 Tahtalı Gölü PLS modelinde kullanılan katsayılar	43

ÖZET

Bu çalışmada, ısı etkisiyle tabakalaşmanın olduğu yapay bir gölde, hidrodinamik çevrimin hidrolojik ve meteorolojik özelliklere göre nasıl değiştiği gözlemlenmiş ve modellenmiştir. Bu çalışmayla, İzmir ilinin % 40 içme suyunu karşılayan Tahtalı Gölü'nde su kalitesinin tabakalaşmaya bağlı olarak değişimi incelenmiş, su kalitesi parametrelerini inceleyen faktörler irdelenmiştir. Tahtalı baraj gölünde hidrodinamik çevrim, gölün 3 boyutlu nümerik modeli kurularak modellenmiştir. Model akım hızı ve sıcaklık ölçümleriyle doğrulanmış ve tabakalaşmanın düşeyde akım profilini nasıl etkilediği incelenmiştir. Model sonuçlarına göre su kolonunda karışım tabakalaşma bölgesinin üzerinde kalmakta aşağı tabakaları etkileyememektedir. Nümerik model yardımıyla ayrıca, gölden çekilerek şehre verilen suyun çekilmesi esnasında tercih edilen kapak seviyesinin tabakalaşmanın stabilitesine etkisi incelenmiştir. Buna göre; suyun tabakalaşmış bölgenin altındaki kapaklardan çekilmesi halinde, alt tabaka su sıcaklıklarının arttığı ve suyun en alt kapaktan çekilmesinin en fazla karışımı yarattığı gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında gölde su kolonu boyunca su kalitesi ölçümleri, aylık olarak yapılmıştır. Literatürde sıkça kullanılan boyutsuz parametrenin su kalitesi parametrelerindeki değişimleri açıklamada yetersiz kalışı diğer meteorolojik değişkenlerinde hesaba katılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu sebeple, su kalitesi parametrelerini meteorolojik parametrelerden hangilerinin etkilediğini araştırmak amacıyla hava sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, gecikmeli rüzgar hızı, nem ve hava basıncı verilerinden oluşan bir veri matrisi kullanılarak çoklu değişken analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda hava sıcaklığı ve bir gün gecikmeli rüzgar hızının yanı sıra nemin de su kalitesi parametrelerinin değişiminde etkili olduğu bulunmuştur.

Literatürde baraj göllerinde tabakalaşmayı azaltıcı ve su kalitesini artırıcı diğer yöntemler araştırılmıştır. Bu yöntemlerden yüksek hızlı su jeti oluşturan küçük çaplı difüzörler yerleştirilerek tabakalaşma altındaki oksijensiz bölgenin üst katmanlarla karışması için kullanılan hidrolik pompalama, ya da, ince gözenekli difüzörler yardımıyla alt tabakalara oksijen sağlayan havalandırma/oksijenleştirme yöntemlerinin Tahtalı baraj gölüne uygulanabileceği düşünülmektedir.

Keywords: Tabakalaşma

Anahtar Kelimeler: Tabakalaşma, Tahtalı, EFDC, hidrodinamik model, su kalitesi, çözünmüş oksijen, bulanıklık, çoklu değişken analizi, ADCP, çekilme etkileri

ABSTRACT

Hydrodynamics of a thermally stratified reservoir is investigated through field observations and numerical modeling in this study. The study site is selected as Tahtalı Reservoir, a water supply reservoir, providing 40% of the water used in the city of Izmir and the effects of stratification on water quality parameters were investigated. A 3-D hydrodynamic model was applied where observations of velocities in the water column and measured water temperatures were used to validate the numerical model. Numerical model results indicated that the vertical mixing is limited to the epilimnion and could not reach to the bottom layers due to the thermocline. The effect of selective withdrawal from outlets located along the water intake structure of Tahtalı Reservoir in Turkey on water temperatures was investigated and the effects on thermal stratification structure were discussed. Withdrawal of the water at the bottom outlet was found to be the most effective choice encouraging the mixing of the water column and thus reducing anoxia.

Within the scope of this study, monthly measurements of water quality parameters in the water column were conducted. Nondimensional analysis widely used in the literature was used to identify the stability of the stratification, but this analysis alone was found insufficient to describe the evolution of water quality parameters such as dissolved oxygen and turbidity in the water column. Thus the correlations of these parameters with respect to meteorological data were investigated through multivariate analysis. The analysis investigated the impact of the different variables including air temperature, wind speed, wind direction, lagged wind speed, humidity and air pressure on each particular water quality parameter. This analysis indicated that air temperature, humidity and one day lagged wind speed were very influential in explaining the water quality.

Various water quality management techniques exist in the literature for artificial destratification. Among these techniques, for Tahtalı Reservoir, it is recommended to use hydraulic destratification, using small diameter diffuser ports creating high velocity water jets or hypolimnetic aeration/oxygenation, in which fine-pore diffusers are used to increase dissolved oxygen in hypolimnion.

Keywords: Stratification, Tahtalı, EFDC, hydrodynamic model, water quality, dissolved oxygen, turbidity, multivariate analysis, ADCP, selective withdrawal

1. GİRİŞ

Isı etkisiyle farklı yoğunluklu katmanların oluştuğu göllerde; rüzgar, göldeki su kütlelerinin düşey profilini belirlemede en etkin rolü oynar. Güneşin ısıttığı üst katmanlar rüzgar etkisiyle aynı yönde itilirler. Bu etkiyle oluşan boşluğu alt katmanlardan yükselen su kütleleri doldurur. Rüzgarın biriktirdiği, rüzgar yönündeki su kütlesi, yerçekimi etkisiyle aşağı yönde hareket eder. Böylece yüzeydeki ısınmış su kütlelerinde hidrodinamik çevrim gözlenir. Bu çevrimin en alt katmanlardaki soğuk sulara inebilmesi, rüzgar etkisine ve güneş etkisiyle oluşmuş farklı katmanların stabilitesine bağlıdır. Hidrodinamik çevrimin yapısını iyi anlamak su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için gereklidir.

Bu çalışmada, ısı etkisiyle oluşmuş, farklı yoğunluklu su katmanları bulunan yapay bir gölde, hidrodinamik çevrimin hidrolojik ve meteorolojik özelliklere göre nasıl değiştiğini gözlemlemek ve modellemek hedeflenmektedir. Sıcaklık farkıyla oluşan katmanlaşmanın akım profiline ve dolayısıyla su kalitesi parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı, yaz aylarında İzmir ilinin % 40 içme suyunu karşılayan Tahtalı Gölü'nde su kalitesinin tabakalaşmaya bağlı olarak bozulmasının nedenlerinin araştırılması, sonuçların ileride uygulanacak su kalitesi ön uyarı sistemlerine alt yapı oluşturmasıdır.

Bu çalışmayı oluşturan aşamalar özet olarak:

- Tahtalı baraj gölünde hidrodinamik çevrimin modellenmesi için 3 boyutlu nümerik modelinin kurulması,
- Modelin kurulması ve hidrodinamiğinin modellenmesinde giriş verisi teşkil edecek parametrelerin ölçülerek, akım ölçümleri yoluyla kurulan modelin doğrulanması,
- Yıl boyunca düşeyde su profilinin ve su kalitesi parametrelerinin incelenmesi ve tabakalaşmanın bu parametreleri nasıl etkilediğinin istatistiksel yöntemlerle araştırılması,
- Gölde çekilerek şehre verilen suyun çekilmesi esnasında tercih edilen kapak seviyesinin su kalitesi düşeyde çevrime ve tabakalaşmanın stabilitesine etkisinin incelenmesi,
- Su kolonunda karışımı artırarak tabakalaşmanın etkilerini azaltıcı yönetim stratejilerinin tartışılmasını kapsamaktadır.

Literatürdeki çalışmalar, genel olarak hidrodinamik modellerle su kalitesi modellerini birleştiren modelleri geliştirmeyi içermektedir (Hamilton ve Schladow, 1997). Sıcaklık ve çözünmüş oksijeni tahmin etmeye yönelik geliştirilen modeller arasında Bell (2006), Stefan and Fang (1994) ve Bonnet ve diğerlerinin (2000) geliştirdiği modeller sayılabilir.

Isı transferinin modellendiği ve tabakalaşmanın incelendiği çalışmalar da mevcuttur. Ottosson ve Abrahamsson (1998), su kolonundaki farklı sıcaklığa sahip katmanlar arası ısı transferi ile ilgili nümerik bir yaklaşım sunmuşlar ve bu yaklaşımdan, birçok göl ekosistemini ilgilendiren başka modellerde faydalanılmıştır (Appelgren ve diğerleri, 1996; Monte ve diğerleri, 1997). Rueda ve Schladow (2003) California'da bulunan Clear Gölü dinamiğini 3 boyutlu hidrodinamik model (SI3D-L) kullanarak araştırmışlardır. Rueda ve diğerleri (2003) bu çalışmanın arazi ölçümleri ile ilgili bölümünü gerçekleştirmişlerdir. Clear Gölü'nün civa ile kirletilmesi sebebi ile cıvanın su kolonundaki dağılımını anlayabilmek için, göldeki çevrimi incelenmiştir. Yapılan modelleme sonucunda, göldeki çevrimi etkileyen en önemli faktörlerin tabakalaşma, rüzgâr ve dünyanın rotasyonu olduğu görülmüştür.

Jin ve diğerleri (2000), Güney Florida'da bulunan Okeechobee Gölü için 3 boyutlu hidrodinamik ve ısı transfer modeli (Çevresel Akışkanlar Dinamiği Kodu (EFDC)) kullanılmıştır. Çalışmada, 28 gün boyunca ölçülen derinlik, yağmur, bağıl nem, solar radyasyon, rüzgâr hızı, giriş ve çıkış debi verileri ile model kalibre edilmiştir. Su seviyesi, akım hızları ve su sıcaklıkları modellenmiştir. Bu çalışmada da çevrimi en çok rüzgar hızının etkilediği, sıcaklığın da göl hidrodinamiğinde önemli bir faktör olduğu görülmüştür.

Schladow ve Thompson (2000), California ve Nevada arasında bulunan Tahoe Gölü'nün kış aylarındaki sıcaklık yapısını incelemişler, farklı rüzgâr koşullarında göldeki tabakalaşmanın durumdan nasıl etkilendiği gözlenmişlerdir. Bu çalışma için bir boyutlu DLM nümerik model kullanılmıştır. Bazı su kalite parametrelerinin ölçümünden de, su kalitesinin hidrodinamiği nasıl etkilediğinin araştırılmasında faydalanılmıştır. Bell ve diğerleri (2006) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, İngiltere'de bulunan Bassenthwaite Gölü'nün rüzgâr, hava sıcaklığı ve solar radyasyondaki değişikliklere bağlı olarak, sıcaklık ve oksijen profilinin modellenmesi için bir boyutlu nümerik model kullanılmıştır. Çalışma sırasında, su sıcaklığı, sudaki oksijen konsantrasyonu ve bulanıklık değerleri ölçülmüştür. Günlük meteorolojik verilerden ve klorofil miktarı ölçümlerinden de, modelin test edilmesinde faydalanılmıştır.

Cesare ve diğerleri (2006), tabakalaşmış göllerde taşkınların yarattığı sirkülasyonu araştırmışlardır. İtalya ve İsviçre arasında bulunan Lugano Gölü'nde, nehirlerin yarattığı bulanık akımları, nehirde ve gölde ölçülen verileri ve 3 boyutlu nümerik model (CDF) kullanarak araştırmışlardır. Ölçülen sıcaklık profilleri, yaz sonunda gölün yoğun bir tabakalaşmaya maruz kaldığına işaret etmiştir. Oluşan yoğun tabakalaşmaya rağmen, büyük taşkınlardan sonra alt tabakalarda bulanık akımlar oluşmuştur.

Bir baraj gölünde hidrodinamik yapı ve tabakalaşma etkilerinin sağlıklı olarak irdelenebilmesi yerinde yapılması gereken kapsamlı ölçümlere bağlıdır. Sunulan çalışmada, boyutsuz parametre analizi (Imberger, 1998) kullanılarak su kolonunda karışma etki eden faktörler araştırılmıştır. Gölün yaz ve kış mevsimlerinde su kalitesini değerlendirmek amacıyla su kalitesi indekslemesi (Water-Research, 2006) uygulanmıştır. Aylık yapılan ölçümlerle meteorolojik faktörlerin tabakalaşmaya ve dolayısıyla su kalitesine olan etkileri araştırılmış, meteorolojik verilerle karşılaştırabilmek amacıyla su kalitesi parametreleri bir ay boyunca yarım saatte bir aralıklarla kaydedilerek, sonuçlar Simca-P 10.5 istatistik modeli (Umetrics, Sweden) kullanılarak incelenmiş ve tartışılmıştır.

Baraj göllerinde tabakalaşmayı etkileyen faktörlerden biri de suyun çekildiği kapak seviyesi ve çekilme miktarıdır. Literatürde az da olsa bu konuda yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda nümerik model yardımıyla su çekilme esansında tabakalaşmanın davranışı incelenmiştir. Casamitjana ve diğerleri (2003) tarafından sunulan çalışmada, bir boyutlu nümerik model kullanılarak, su çekilmenin tabakalaşmış katmanlar üzerindeki etkisini incelenmiştir. Nümerik model sonuçlarına bakıldığında, tabakalaşmanın başladığı noktanın suyun çekildiği bölgeye göre değiştiği ve kapağın üzerinde kalan bölgede tam karışım sağlandığı görülmüştür. Bonnet ve diğerleri (2000), yaptıkları çalışma ile düşey sıcaklık profiline suyun çekildiği bölgeye göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Yaz aylarında suyun alt kapaktan çekilmesi ile beraber, tabakalaşmanın başladığı noktanın daha derin noktalara taşındığı görülmüştür.

Gölde oluşan iç dalgaların çekilen suyun kalitesi üzerine etkisi Anohin ve diğerleri (2006) tarafından incelenmiştir. Çalışma, Avustralya'da bulunan bir gölde yapılmıştır. Suyun çekildiği ana borular içerisine ölçüm aletleri yerleştirilmiş ve sıcaklık, iletkenlik, bulanıklık ve pH gibi bazı su kalite parametreleri ölçülmüştür. Göl üzerindeki rüzgâr hızı ve yönünün mevsimlere göre değişimi de ölçülmüştür. Yoğun tabakalaşma, iç dalga oluşumunu azaltmıştır. Rüzgâr etkisinin yoğun olduğu kış aylarında çekilen su sıcaklığında değişimler gözlenmiştir. Bu da, iç dalgaların su sıcaklığı değişiminde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Yüzeyde görülen rüzgâr, çekilen suyun sıcaklığında ihmal edilebilir düzeyde değişiklik etkilemiştir.

Farklı kapaklardan su çekilmesinin su kalitesi üzerine etkisi bir başka çalışmada incelenmiştir (Dortch, 1997). Yapılan çalışmada 2 boyutlu matematiksel modelden faydalanılmıştır. Suyun kalitesini artırma teknikleri tartışılmıştır. Su kalitesini arttırmak için ve tabakalaşmayı azaltmak için suyu çekip geri pompalama yöntemi tavsiye edilmiştir.

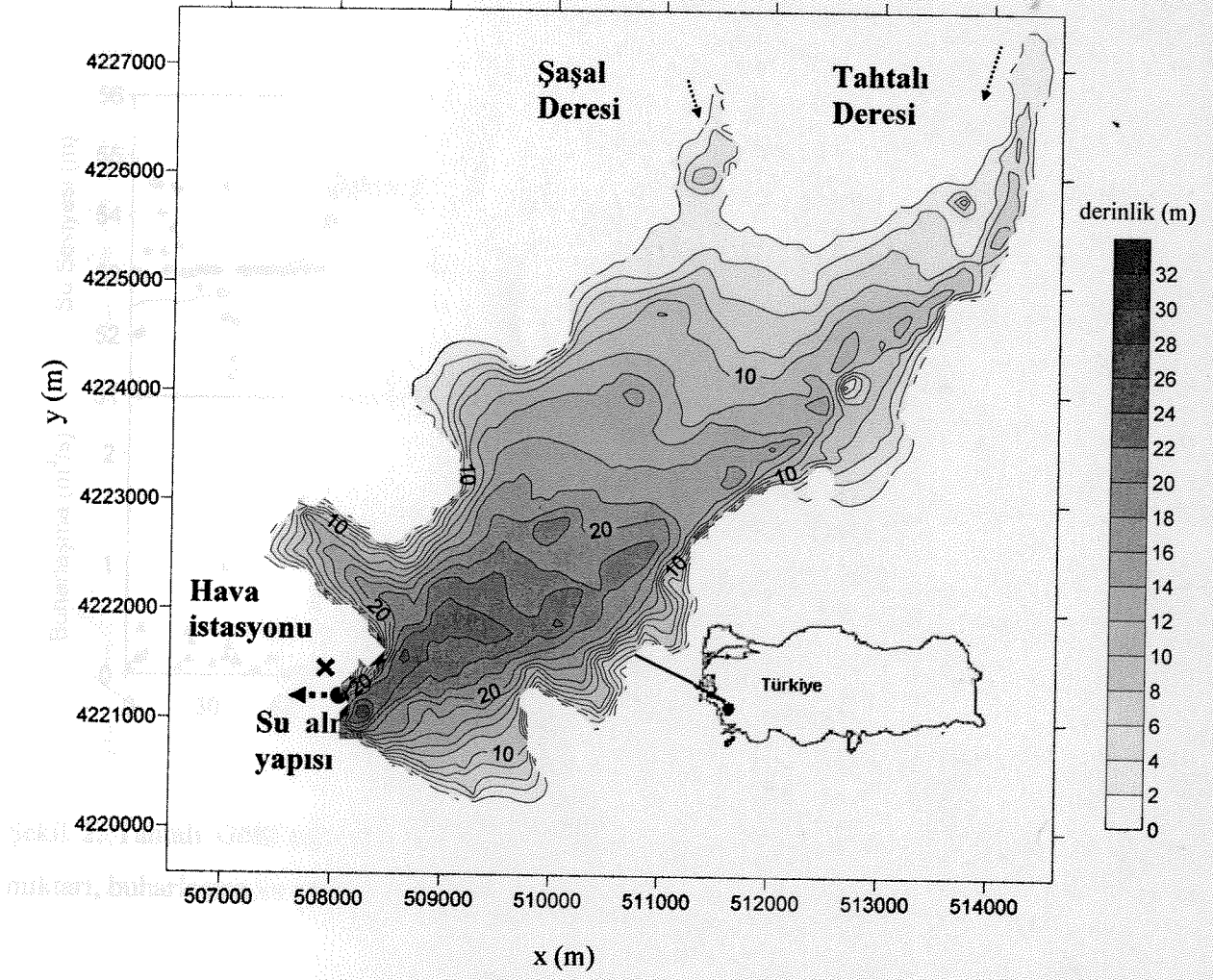
Sunulan çalışmada, Tahtalı baraj gölü su alma yapısında mevcut bulunan kapak derinlikleri kullanılarak, göldeki akım hızları ile sıcaklık profilleri modellenmiş ve su sütununda en iyi karışımı sağlayabilecek, dolayısı ile de su kalitesini arttıracak en uygun şartların, hangi kapağın kullanılması durumunda sağlanacağı araştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA SAHASI: TAHTALI BARAJ GÖLÜ

Çalışma alanı olarak, Tahtalı Gölü seçilmiştir (Menderes, İzmir) (Şekil 1). Tahtalı Barajı, kaya dolgu baraj olarak projelendirilmiş ve 1996 yılında tamamlanmıştır. Gölün yüzey alanı 20 km²'dir. Gölün ortalama derinliği 15 m'dir ve göldeki en derin yer, göl su seviyesi, deniz seviyesinin 60 m üzerinde iken 32 m'dir. Baraj kapasitesi 175 milyon m³'tür ve aylık 5 milyon m³ su üretilmektedir. Baraj, İZSU (İzmir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşletme Müdürlüğü) tarafından işletilmektedir.

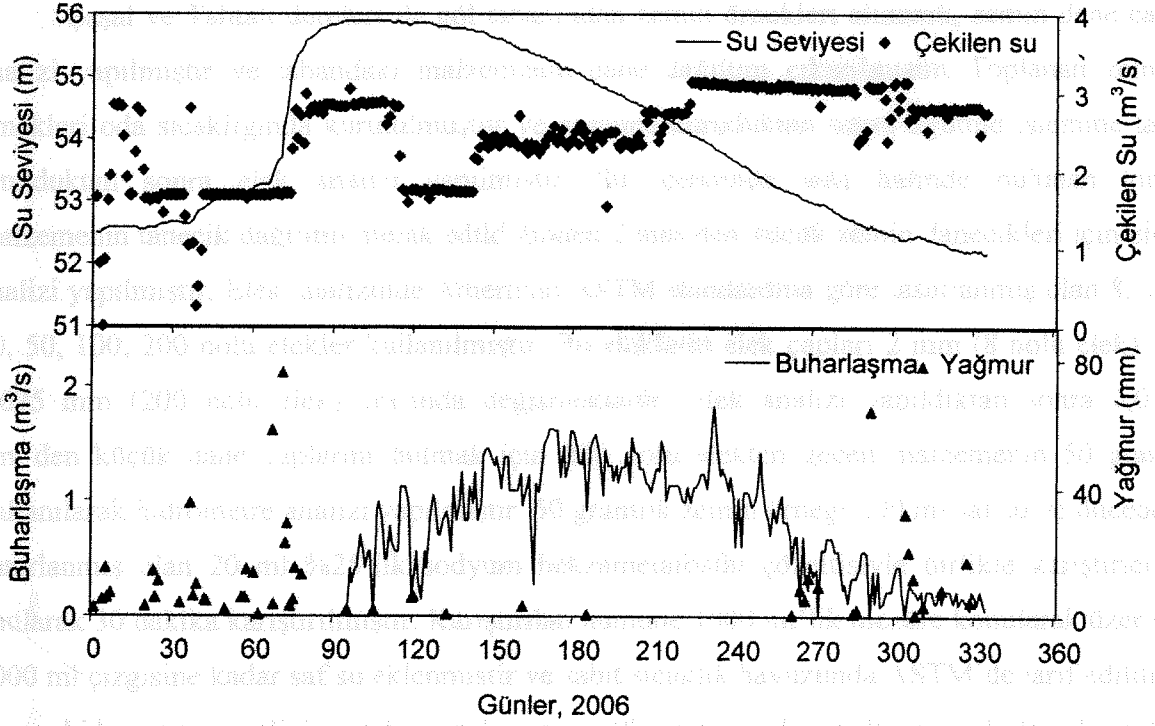
Gölü besleyen ana nehirler Kuzey yönünden gelen Şaşal ve Tahtalı nehirleridir. Bunlardan Tahtalı nehrinin toplam göle giren debiye katkısı Şaşal'a göre daha fazla ve % 75 oranındadır. Su alma ünitesi, gölün Güneybatı yakasındadır ve ünitenin bulunduğu noktadaki derinlik 27 m'dir. İzmir iline gönderilmek üzere gölden çekilen su yaklaşık 3 m³/s'dir. Kapaklardan çekilen su, gölden, arıtma tesisine pompalanmakta, burada arıtıldıktan sonra kullanım suyu olarak şehre gönderilmektedir.

Bölge, çoğunlukla Doğu yönünden, zaman zaman da Kuzey yönünden gelen rüzgârlara maruz kalmaktadır. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 3 m/s'dir. Bölgede, Akdeniz iklimi hâkimdir ve en soğuk ay olan Ocak ayı için ortalama su sıcaklığı homojen ve 8°C iken, en sıcak ay Temmuz'da, yüzeyde 28°C, en derin yerde ise 14°C arasında değişmektedir. Baraj gölü hacmi ve çekilen su debisi dikkate alınarak hesaplanan suyun gölde tutulma zamanı 2.5 yıldır. Tahtalı baraj gölünde 2006 yılında ölçülmüş olan göl su seviyesi, gölden çekilen su miktarı, buharlaşma ve yağmur verileri Şekil 2'de, su sıcaklık profilleri Şekil 3'te görülmektedir.

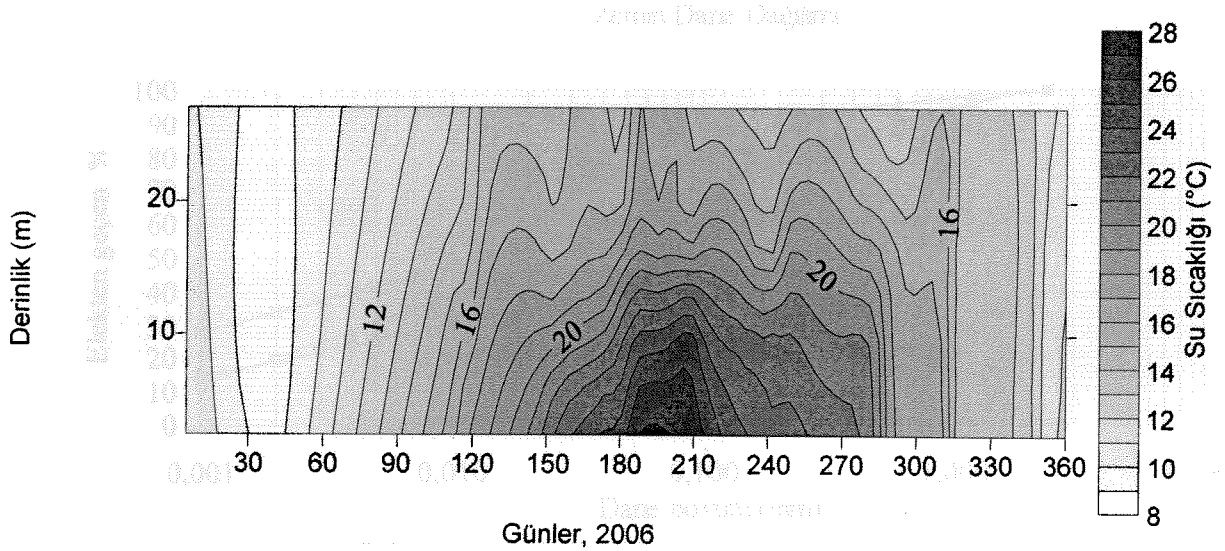


Şekil 1. Tahtalı Gölü nümerik modeli derinlik haritası. Şekilde görülen koyu renkli bölgeler, göldeki en derin bölgelerdir ve yaklaşık 32 m'dir.

2.1 Zemin Dene Dağılımı Analizi



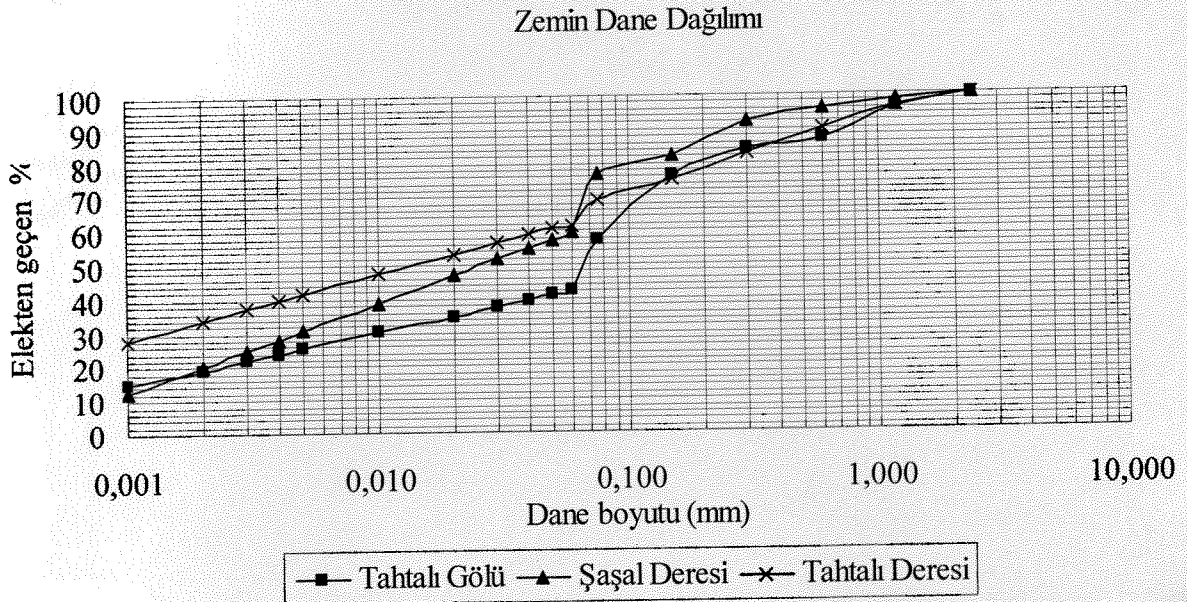
Şekil 2. Tahtalı Gölü'nde ölçülmüş olan 2006 yılına ait göl su seviyesi, gölden çekilen su miktarı, buharlaşma ve yağmur verileri.



Şekil 3. Tahtalı Gölü'nde ölçülmüş olan 2006 yılına ait su sıcaklık profilleri.

2.1 Zemin Dane Dağılımı Analizi

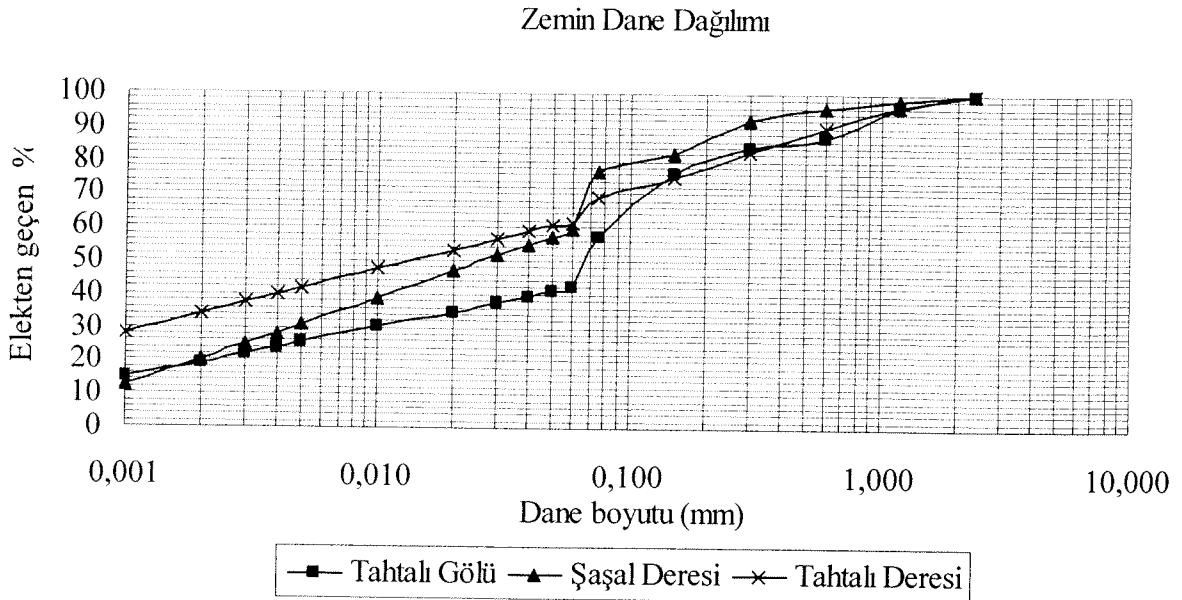
Şaşal ve Tahtalı dereleri ile göl tabanından zemin örnekleri alınarak, zemin dane çapı analizi yapılmıştır ve tabandaki malzemenin dane dağılımı çıkarılmıştır. Toplanan zemin örnekleri oda sıcaklığında kurutulmuştur ve numune kuruduktan sonra öğütme işlemine tabi tutulduktan sonra elek analizi yapılmıştır. Su içerisinde askı halinde bulunan tortu malzemenin tanecik dağılımı merak edildiğinden 2 mm'den küçük zemin danecikleri için elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde Amerikan ASTM standardına göre tasarlanmış olan 8, 16, 30, 50, 100, 200 nolu elekler kullanılmıştır. Bu eleklerin elek çapları 2 mm (8 nolu elek) ile 0,075 mm (200 nolu elek) arasında değişmektedir. Elek analizi yapıldıktan sonra 0,075 mm'den küçük dane çaplarını bulmak için 200 nolu elekten geçen malzemenin 50 gramı kullanılarak hidrometre analizi yapılmıştır. 50 gramlık zemin örneği 200 ml saf su ve önceden hazırlanmış olan 20 ml %25'lik sodyum heksametafosfat çözeltisiyle birlikte karıştırıcıya onularak 30 dakika karıştırılmıştır. Karıştırılan numune 1000 ml'lik mezüre konularak üzerine 1000 ml çizgisine kadar saf su eklenmiştir ve sabit sıcaklık havuzunda ASTM'de tarif edildiği üzere hidrometre analizine tabi tutulmuştur. 48 saate kadar belli aralıklarla okumalar yapılarak zeminin 0,001 mm'lik çapa kadar tanecik dağılımı hesaplanmıştır (Şekil 4). Buna göre göl tabanında ve derelerde zemin içeriği kum-kil ve kum-silt karışımlarından oluşmaktadır.



Şekil 4. Şaşal ve Tahtalı dereleri ile Tahtalı baraj gölü tabanındaki malzemenin dane dağılımı.

2.1 Zemin Dane Dağılımı Analizi

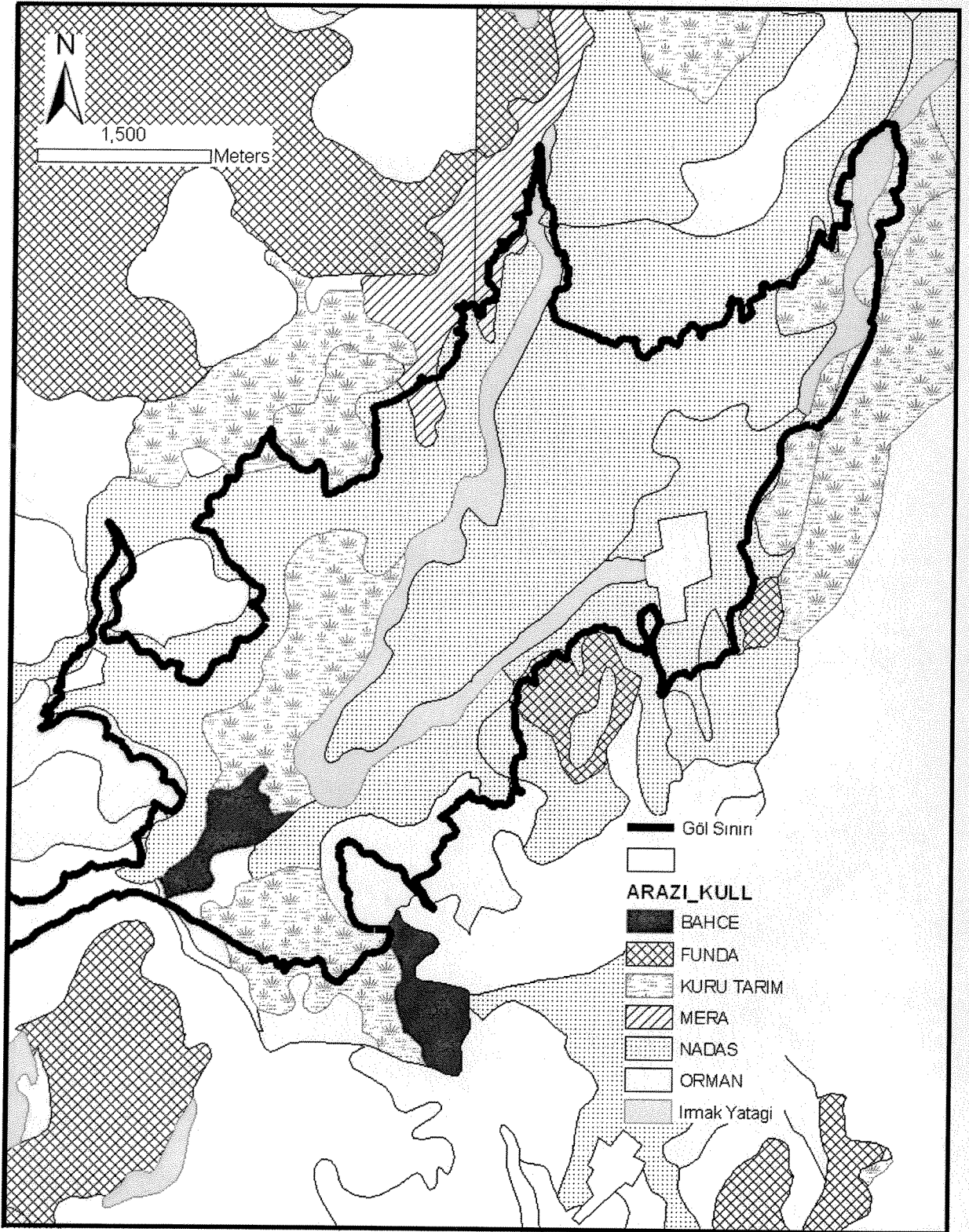
Şaşal ve Tahtalı dereleri ile göl tabanından zemin örnekleri alınarak, zemin dane çapı analizi yapılmıştır ve tabandaki malzemenin dane dağılımı çıkarılmıştır. Toplanan zemin örnekleri oda sıcaklığında kurutulmuştur ve numune kuruduktan sonra öğütme işlemine tabi tutulduktan sonra elek analizi yapılmıştır. Su içerisinde askı halinde bulunan tortu malzemenin tanecik dağılımı merak edildiğinden 2 mm'den küçük zemin danecikleri için elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde Amerikan ASTM standardına göre tasarlanmış olan 8, 16, 30, 50, 100, 200 nolu elekler kullanılmıştır. Bu eleklerin elek çapları 2 mm (8 nolu elek) ile 0,075 mm (200 nolu elek) arasında değişmektedir. Elek analizi yapıldıktan sonra 0,075 mm'den küçük dane çaplarını bulmak için 200 nolu elekten geçen malzemenin 50 gramı kullanılarak hidrometre analizi yapılmıştır. 50 gramlık zemin örneği 200 ml saf su ve önceden hazırlanmış olan 20 ml %25'lik sodyum heksametafosfat çözeltisiyle birlikte karıştırıcıya onularak 30 dakika karıştırılmıştır. Karıştırılan numune 1000 ml'lik mezüre konularak üzerine 1000 ml çizgisine kadar saf su eklenmiştir ve sabit sıcaklık havuzunda ASTM'de tarif edildiği üzere hidrometre analizine tabi tutulmuştur. 48 saate kadar belli aralıklarla okumalar yapılarak zeminin 0,001 mm'lik çapa kadar tanecik dağılımı hesaplanmıştır (Şekil 4). Buna göre göl tabanında ve derelerde zemin içeriği kum-kil ve kum-silt karışımlarından oluşmaktadır.



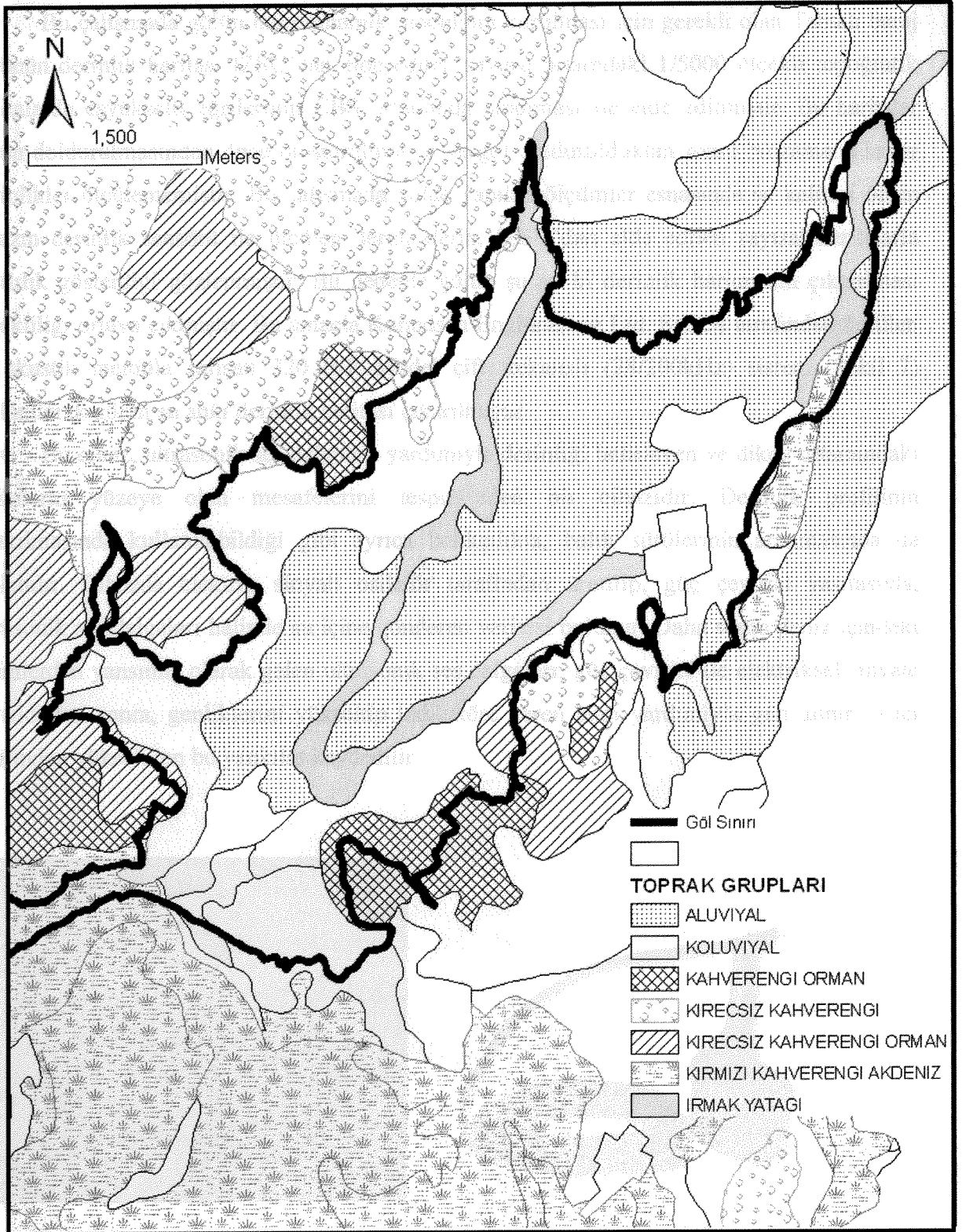
Şekil 4. Şaşal ve Tahtalı dereleri ile Tahtalı baraj gölü tabanındaki malzemenin dane dağılımı.

2.2 Gölün Dolum Öncesi Toprak Haritasının Çıkarılması

Gölün dolum öncesi toprak haritası çıkartılmak üzere Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 1995 yılına ait 1/25000 ölçekli toprak haritaları CBS ortamında sayısallaştırılarak arazi kullanım durumunu gösteren harita elde edilmiştir (Şekil 5). Benzer şekilde büyük toprak gruplarını gösteren harita Şekil 6'de gösterilmiştir. Buna göre göl alanının büyük kısmı nadasa bırakılan aluviyal ve koluviyal tip topraklardan oluşmaktadır. Gölün güneyinde su alma yapısına yakın bölgede ise bahçe ve kuru tarım yapılan bölgeler yoğunluk göstermektedir.



Şekil 5. Göl alanının sular altında kalmadan önceki arazi kullanım durumu



Şekil 6. Göl alanında sular altında kalmadan önce bulunan toprak grupları

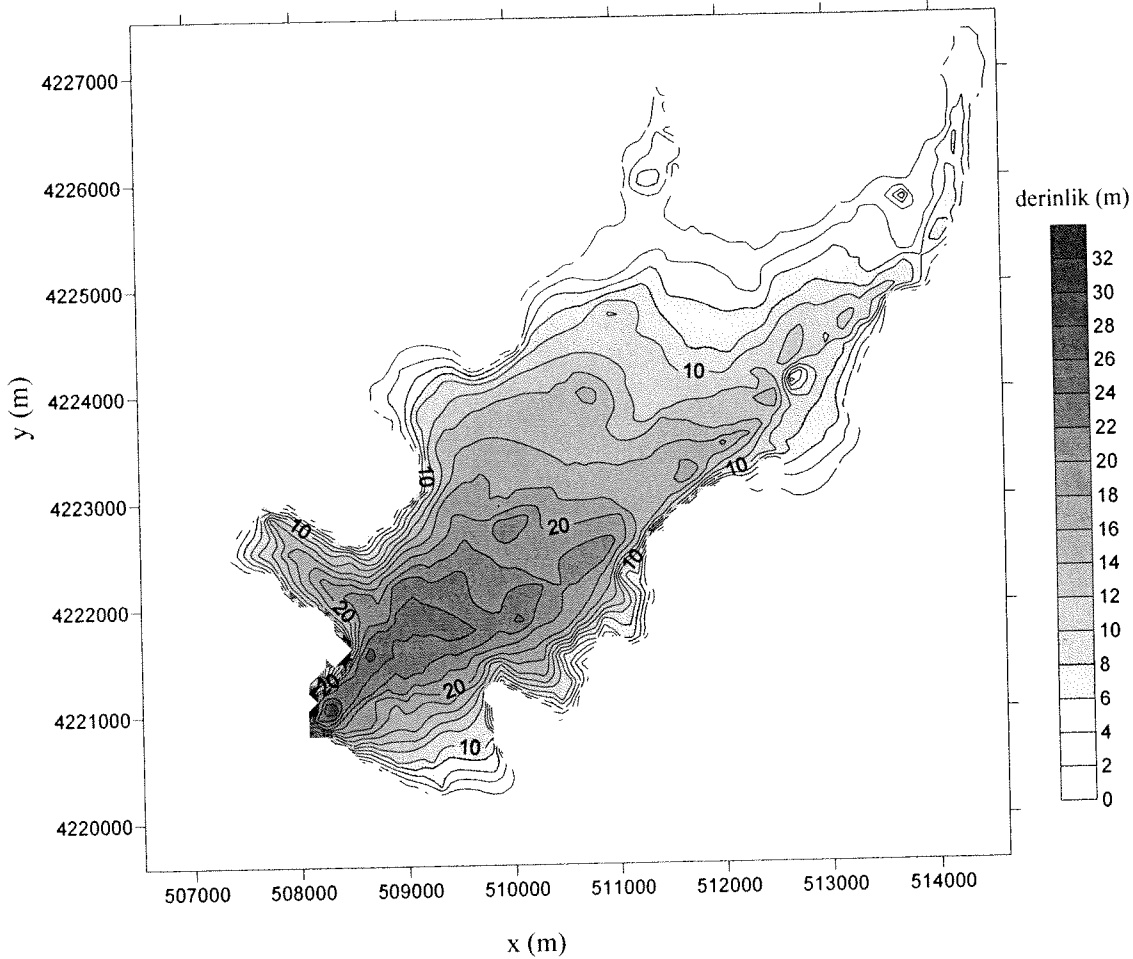
2.3 Gölün Derinlik Haritasının Çıkarılması

Bu çalışmada gölün hidrodinamik modelinin kurulması için gölünün derinlik haritası İZSU'dan elde edilen sayısal ortamdaki haritalarda eşyüksele eğrilerinin CBS ortamında taranması ile gölün doldurulmasından önce oluşturulmuştur ve göl doldurulduktan sonra derinlikler ölçülememiştir. Bu çalışmada gölde yapılan ölçümler için cihazın derinlik sensörü ile ölçülen derinliklerin, İZSU'dan elde edilen farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle gölün şu anki derinlik haritasının çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla Kunudsen Engineering Ltd. tarafından üretilen ve akustik metodla çalışan 320 B/P Model çift frekanslı (200 kHz) olarak gölün şu anki derinlik haritası çıkarılmıştır.

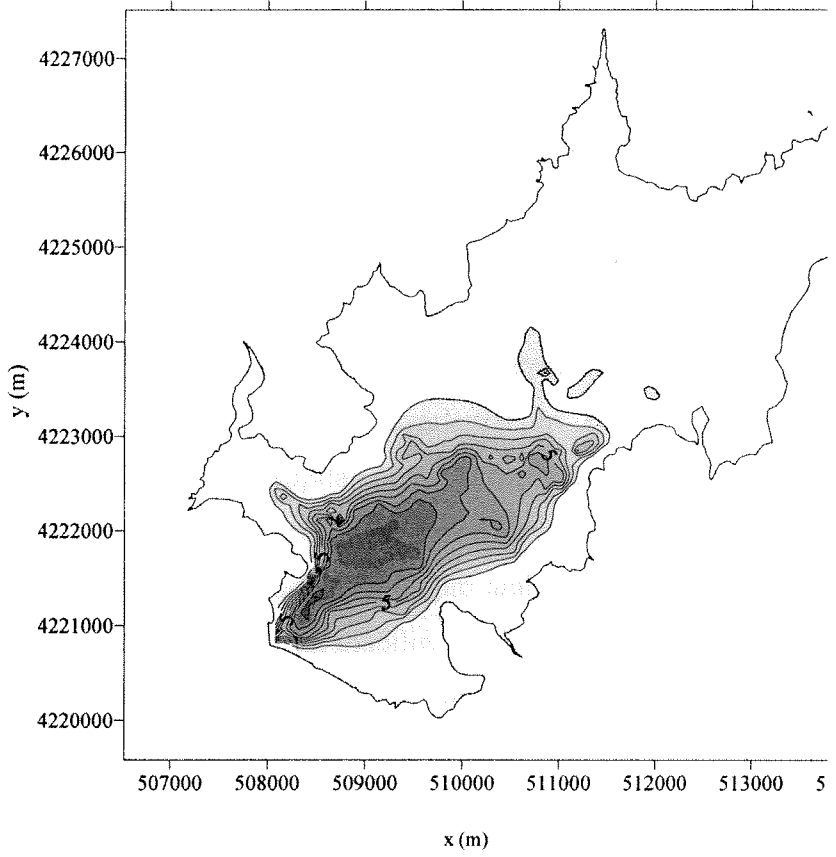
Bu cihaz, ultrasonik ses dalgaları yardımıyla derinliği belirlemek için cisimlerin yüzeye olan mesafelerini tespit eden bir cihazdır. Cihazın çıkarılmasında kullanılabildiği gibi ayrıca balıkçılıkta, balık tutulmasında kullanılır. Cihazda elektrik sinyali osilatör tarafından üretilen ultrasonik ses dalgaları halinde su içine gönderen vericisi bulunur. Cisimlerden yansımış olarak gelen ultrasonik ses dalgaları, güçlendirildikten sonra, genliklerini yükseltip indikatöre veren alıcı tarafından yükseltelen bu yankılar kaydedilir.



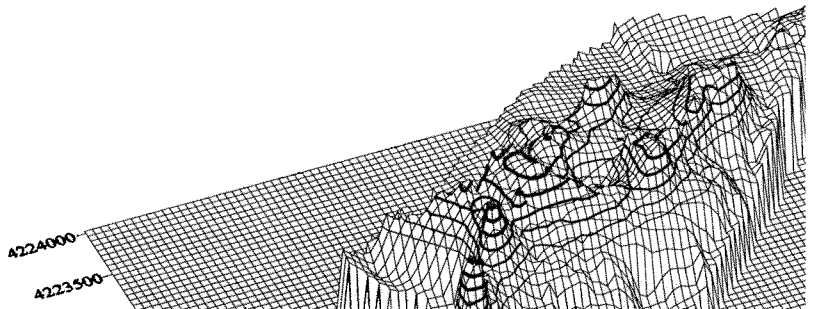
Şekil 8 göl dolum öncesi 1/5000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilen derinlik haritasını göstermektedir. Bu harita oluşturulurken göl su seviyesi 60 m olarak kabul edilmiştir. Gölde yapılan ölçümler esnasında (2007 yaz ayları) kuraklık nedeniyle seviye 45 m'ye düşmüş ve Şekil 9'da gösterilen harita ölçülen değerler kullanılarak oluşturulmuştur. İki harita 45 m seviyesi ve altı için karşılaştırılmıştır. Yeni oluşturulan derinlik haritasında bazı yerlerde beklenmedik ve eşyüksekti eğrileriyle uyumsuz yerler görülmüş (mesela derinliğin 8'm den birden 2'm ye düşmesi ve sonra tekrar 8 m'ye çıkması gibi) ve bu koordinatlar eski haritalarda incelendiğinde buraların bahçe ve tarım alanı olduğu ve buralarda ağaçların haritaya işlenmiş olduğu görülmüştür. Bu koordinatlarda akustik sinyalin yollanarak ekosunun dinlenmesiyle ölçülen değerler sağlıklı olamamıştır. Bu şekilde olan koordinatlar ölçümlerden çıkarılarak elde edilen derinlik haritası ile dolum öncesi derinlik haritası 45 m seviyesi ve altı için karşılaştırılmıştır (Şekil 9). Fark haritası aynı zamanda derelerle taşınan katı maddelerin biriktiği bölgelere de işaret etmektedir. Buna göre en çok birikme su alma yapısının önünde gözlenmiştir.

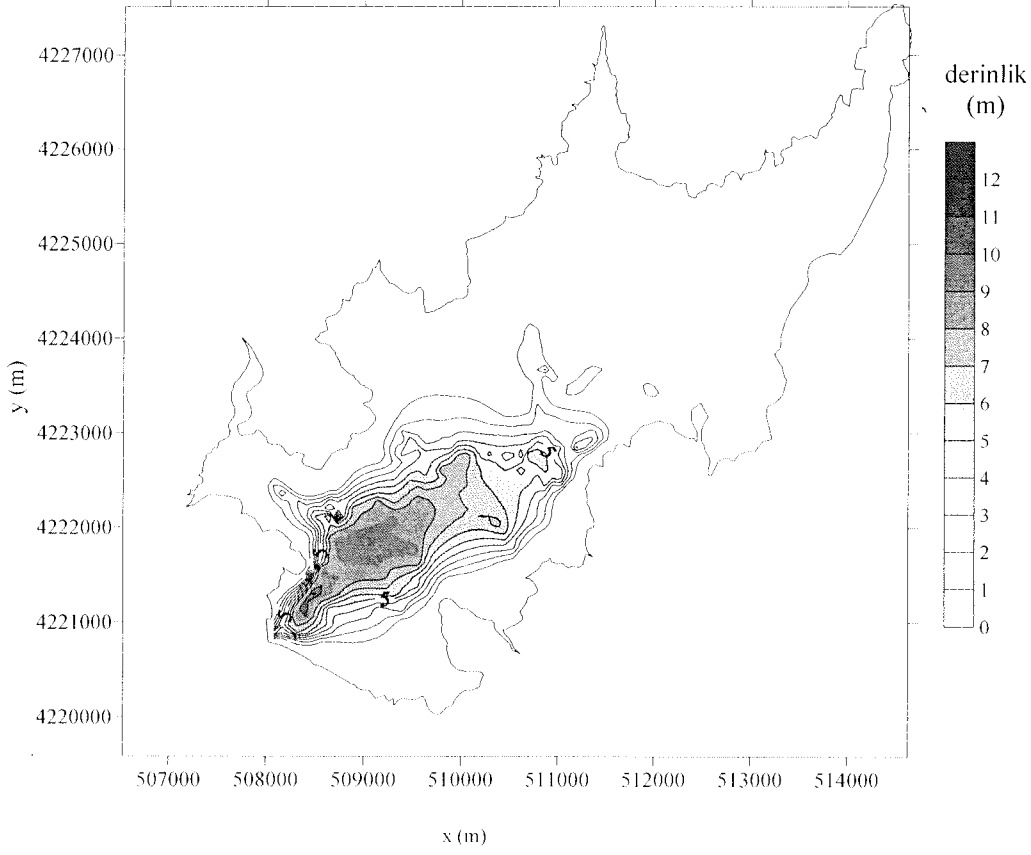


Şekil 8. Topoğrafik haritalardan elde edilen göl dolum öncesi derinlik haritası

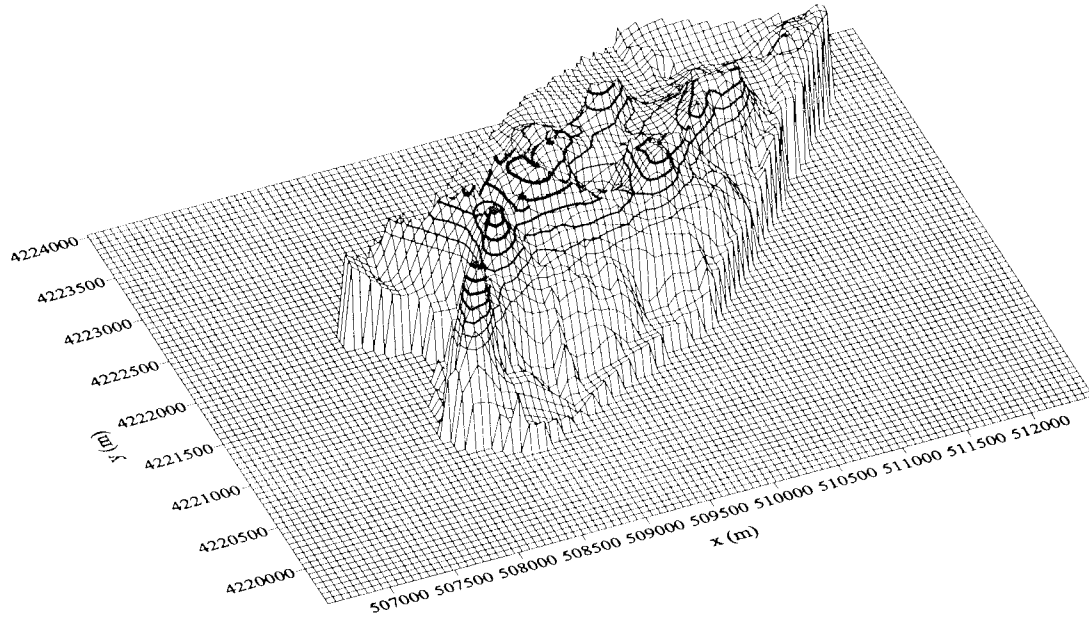


Şekil 9. Derinlik ölçer kullanılarak ölçülen değerlerle oluşturulan





Şekil 9. Derinlik ölçer kullanılarak ölçülen değerlerle oluşturulan derinlik haritası



Şekil 10. Dolu öncesi derinlik haritası ile derinlik ölçer kullanılarak ölçülen değerlerin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilen fark haritası

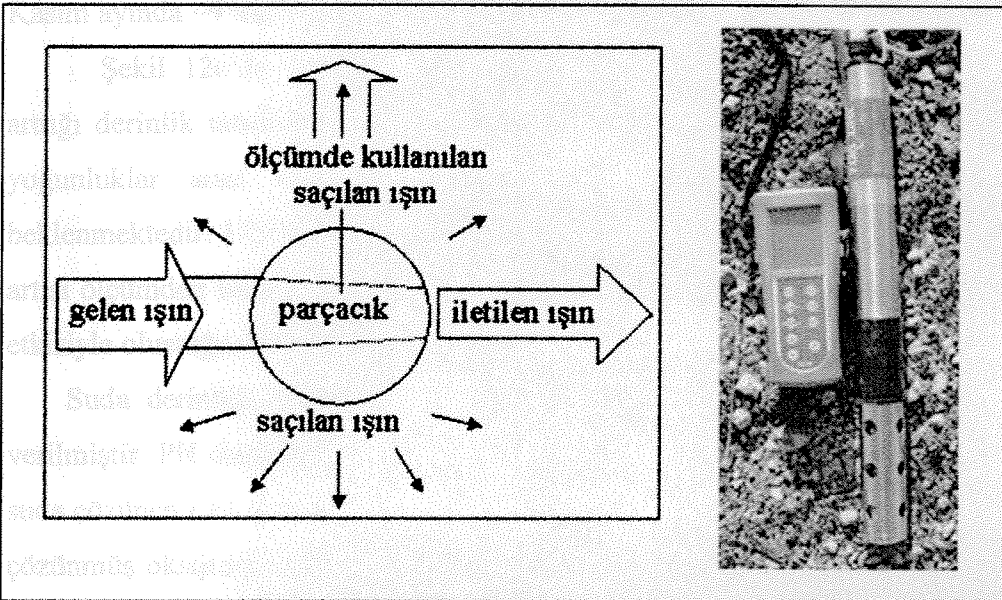
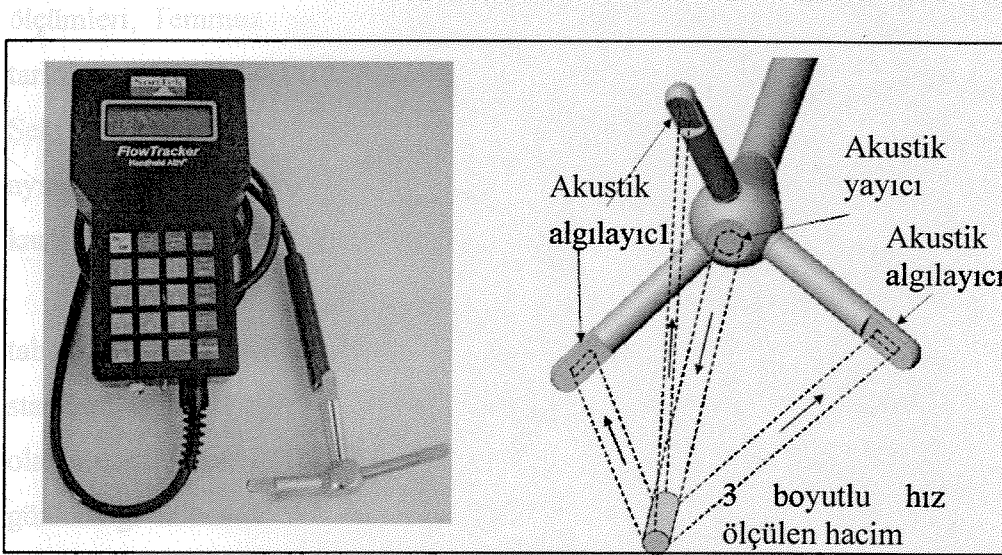
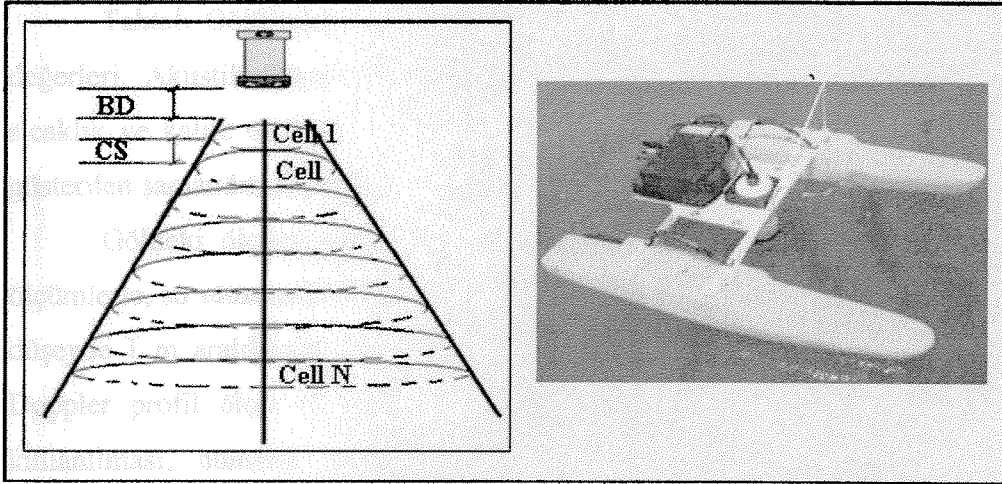
3. AKIM VE SU KALİTESİ PARAMETRELERİ ÖLÇÜMLERİ

Göldeki su kolonu hız ölçümleri, Sontek tarafından tasarlanan 1,5 MHz'lik ADCP-River Cat (Akustik Doppler Akım Profil Ölçer) kullanılarak yapılmıştır (Şekil 11a). ADCP üzerinde, her biri farklı yönlere bakan üç adet sinyal yollayıcı mevcuttur. Kullanılan cihaz, en az 25 cm, en fazla 25 m derinliğe kadar ölçüm yapabilmektedir. Tahtalı Gölü ölçümlerinde düşey profil aralıkları 1 m olarak seçilmiştir. Sinyal yollayıcıların hemen önündeki alanda olabilecek ölçüm hatalarına karşı, düşeydeki ölçümler, sinyal yollayıcılardan 40 cm daha aşağıdan başlayacak şekilde ayarlanmıştır. 30 saniye boyunca ölçülen hızların ortalaması alınmıştır. ADCP ile yapılan ölçümlerde ölçülen hızların ortalamasının alınması, olası hataları en aza indirmek açısından önemlidir. Hatalar, gönderilen sinyalin sese olan oranına, frekansa, derinliğe, düşeydeki ölçüm aralıklarına, ortalaması alınan veri miktarına ve ölçülen kesitin geometrisine bağlı olabilir. Sıcaklık, ortalama dalga hızı, türbülans, yoğunluk içerikleri ve ADCP'nin hareketi gibi dış faktörler de ölçüm hataları yaratabilirler. Nehirlerde debi ölçümü esnasında ise yine aynı firma tarafından tasarlanan 10000 kHz'lik akustik Doppler hız ölçer kullanılmıştır (Flowtracker) (Şekil 11b).

Su sıcaklık profili ölçümleri ise, DKK-TOA tarafından tasarlanan WQC-24 (su kalitesi ölçer) ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 11c). Su kalite ölçer ile pH, iletkenlik, tuzluluk, çözülmüş oksijen, bulanıklık ve sıcaklık gibi parametreler istenilen derinlikte ölçülebilmektedir.

Nümerik model için gerekli olan meteorolojik veriler ise gölün Güneybatı kıyısına kurulmuş olan ve TFA (Master Touch) tarafından üretilen hava istasyonu kayıtlarından alınmıştır. Hava istasyonundan alınan veriler, hava basıncı, hava sıcaklığı, havadaki nem oranı, solar radyasyon, rüzgâr hızı ve yönü, yağmur ve buharlaşma verilerinden oluşmaktadır.

Göl alanındaki ölçümler, İZSU tarafından sağlanan tekne yardımıyla yapılabilmektedir. Yapılan ölçümlerle, su sütununun düşeyde hız ve sıcaklık profilleri çıkarılmıştır. Su kalitesi ölçümleri, düşeyde 1 m aralıklarla yapılmıştır. Ölçümler esnasında, su kalitesi ölçen cihaz ile Akustik Doppler akım profili ölçen cihaz aynı zamanlarda çalıştırılmışlardır. İki cihazın eş zamanlı olarak kullanılması, nümerik model sonuçları ile kıyaslamalarda kolaylık sağlamıştır.



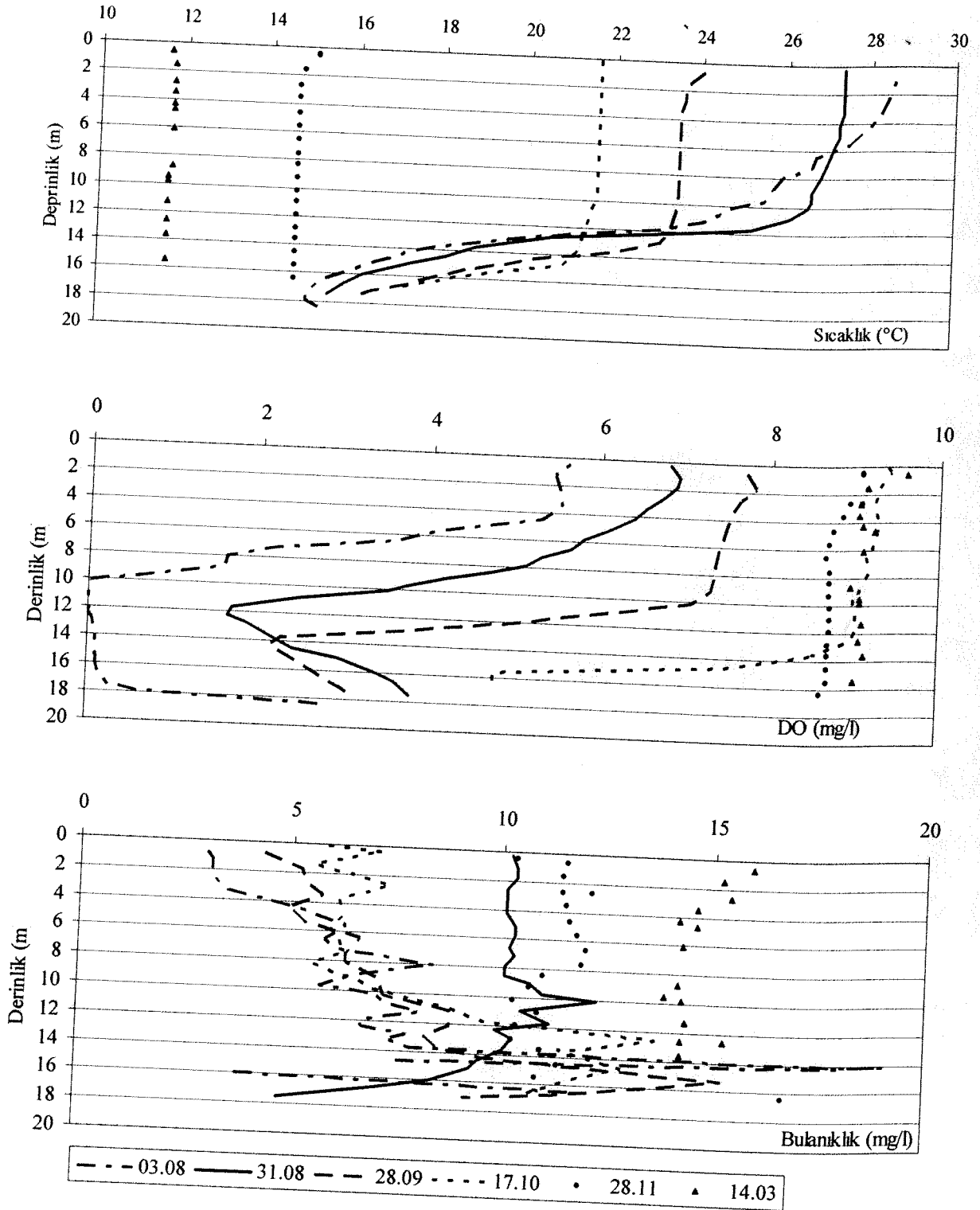
Şekil 11. Çalışmada kullanılan aletler (a) Su kalitesi ölçer (b) Akustik Dopler Akım Profili Ölçer (Rivercat) (c) Akustik Dopler Hız Ölçer (Flowtracker)

Tahtalı Gölü'ndeki su kalitesi ve hız profili ölçümleri, değerleri, Akustik Doppler profil ölçer yardımı ile akustik sıcaklık ve kalite ölçümleri ise su kalitesi ölçer ile yapılmıştır. Gösterilen şamandıranın bulunduğu yerde sabit olarak yapılmıştır.

Göldeki ölçümlerde, İZSU tarafından sağlanan tekne ölçümleri, su sütununun düşeyde hız ve sıcaklık profilleri çıkarılarak düşeyde 1 m aralıklarla yapılmıştır. Ölçümler esnasında, su 1 Doppler profil ölçer eş zamanlı olarak çalıştırılmışlardır. Ölçüm kullanılması, nümerik model sonuçları ile kıyaslamalarda ölçümleri, Temmuz-Ağustos 2006 (kurak mevsim) ve Eylül-Eylül tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir ve ölçülen sıcaklık değeri Şekilde görüldüğü üzere, Ağustos ayında tabakalaşma etkin, ve ayına gelindiğinde karışım başlamış ve tabakalaşma 14 m'ye karışım tamamlanarak su sıcaklığı ~ 15 °C'de homojen bir dağılım

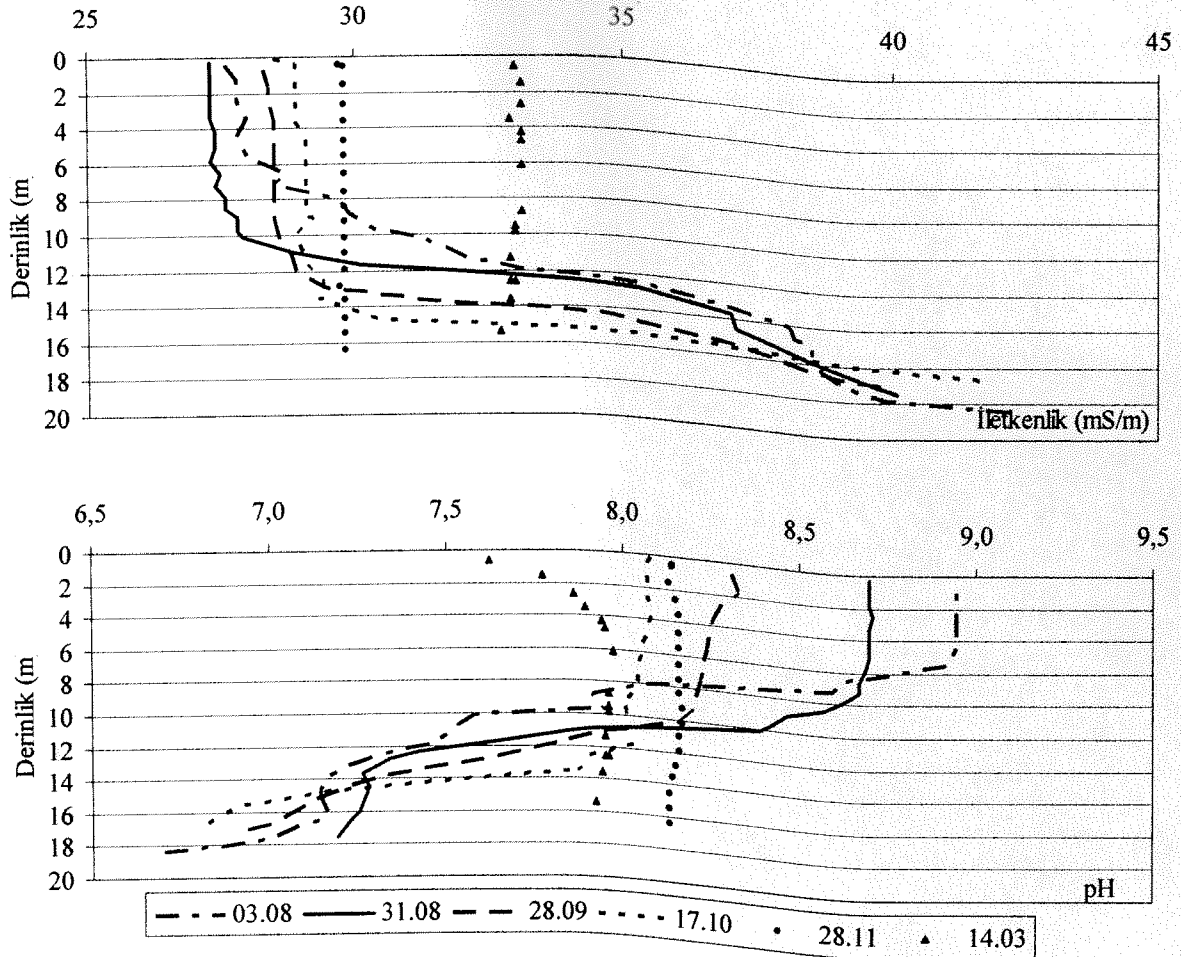
Gözlenen çözünmüş oksijen değerleri ise Şekil 12b'de tabakalaşmanın başladığı 10 m derinlikte, sudaki çözünmüş oksijen standart olan 5 mg/l çok altına inmiştir. Bu bölgede çözünmüş oksijen olanaksızdır. Bu düşüş, sıcak olan üst katmandaki organik maddelerin gözlendiği katmana çökmesi ve buradaki oksijenli ayrışma kullanılması ile açıklanabilir. Sıcaklık profilinde olduğu gibi Kasım ayında ~ 9 mg/l miktarı derinlik boyunca homojen olarak

Şekil 12c'de ölçülen bulanıklık profilleri verilmekte olduğu derinlik tabakalaşmanın gözlendiği derinliktir. Türbülanslı bölgeler arası değerlerin en büyük olduğu yerde a



Şekil 12. Tahtalı Gölü'nde Ağustos (2006) ayında yapılan sıcaklık, çözünmüş oksijen ve iletkenlik ölçümlerinin derinlikle değişimi

Kasım ayında karışım meydana gelmesiyle pH değeri homojen olarak 8.2 olmuştur. Ağustos ayında gözlenen tabakalaşma ile birlikte sudaki çözünmüş tuzların göstergesi olan iletkenliğin alt katmanlarda arttığı gözlenmiştir. İletkenlik arttıkça, kirletici miktarı artabileceğinden bu seviyeden çekilecek su, kullanıma ve sulamaya elverişsiz hale gelmektedir.



Şekil 13. Tahtalı Gölü'nde Ağustos (2006) ayında yapılan iletkenlik ve pH ölçümlerinin derinlikle değişimi

4. TABAKALAŞMANIN BOYUTSUZ PARAMETRE YARDIMIYLA İRDELENMESİ

Sıcaklığın artması ile su sütunu içerisinde farklı yoğunluk içeriklerine sahip tabakalar oluşur ve su sütununda oluşan sıcaklık farkları bu açıdan tabakalaşmaya sebep olduğu için sıcaklık, göllerin hidrodinamik özelliklerini önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Tabakalaşmaya maruz kalmış göllerde, suyun sıcak olduğu üst bölge ile soğuk olduğu alt bölge arasında kalan orta tabaka (tabakalaşmış bölge), gölde bariyer görevi görmekte ve canlıların yaşaması için gereken bazı faydalı birleşenler (çözülmüş oksijen gibi), su sütunu içerisinde serbest hareket edemeyerek, üst bölgede hapis olup, belli derinliklerin altına inememektedirler.

Tahtalı Gölü'nde yaz aylarında oluşan tabakalaşmanın varlığı, bazı parametrelerin analizi ile ifade edilmiştir. Bu analiz için, gölün stabilitesi ve göldeki karışım olaylarının bir göstergesi niteliğindeki boyutsuz bir parametre kullanılmıştır (Imberger, 1998). Tahtalı Gölü için göl numarası (L_N), Ağustos-Ekim-Kasım/2006 tarihlerine ait fiziksel koşullara dayanarak, denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_N = [S_i (H - h_T)] / [u_*^2 A_s^{3/2} (H - h_v)] \quad (1)$$

Denklemlerde geçen S_i gölün stabilitesini ((2) no'lu denklem), u_* ise rüzgâra bağlı oluşan kesme hızını ((3) no'lu denklem

$$S_i = \frac{1}{2} g' [(A_1 A_2 h_1 h_2) (h_1 + h_2)] / [(A_1 h_1) + (A_2 h_2)] \quad (2)$$

$$u_* = \left[0.0013 \left(\frac{\rho_a}{\rho_w} \right) U_{(10)}^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

g' farklı yoğunluklara bağlı bir fonksiyonu ((4) no'lu denklem);

$$g' = \left(\frac{\Delta \rho}{\rho'} \right) g \quad (4)$$

H göldeki toplam derinliği; h_T gölün tabanından tabakalaşmanın başladığı noktaya olan mesafeyi; A_s gölün toplam yüzey alanını; h_v göl tabanından gölün ağırlık merkezine olan mesafeyi; A_1, h_1 üst tabaka alanını ve kalınlığını; A_2, h_2 alt tabaka alanını ve kalınlığını; ρ_a hava yoğunluğunu; ρ_w su yoğunluğunu; $U_{(10)}$ su yüzeyden 10 m yukarıdaki rüzgar hızını; $\Delta \rho$ alt tabaka ile üst tabaka arasındaki yoğunluk farkını; ρ' göl suyunun ortalama yoğunluğunu; g ise yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

Denklem (1) kullanılarak, Tahtalı Gölü için Ağustos, Ekim değeri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, tabakalaşma bulunmuştur ve bu kritik değere karşılık gelen rüzgâr hızı, 3 m/s'dir. Kasım zaman diliminde L_N değeri kritik değerinin altında kalmıştır. Ekim yükselmiş ve son olarak Kasım ayının tamamında L_N kritik değerini geçmiştir, Kasım ayı itibarı ile Tahtalı Gölü'nde tabakalaşmanın ka- rşılığı olarak Tahtalı Gölü'ndekine benzer olarak, Toolik Gölü (Alaska/USA), 1 n ve gölde karışım olabilmesi için en az 7 m/s rüzgâr hızı gerekmektedir. Nevada ve California arasında kalan Tahoe Gölü üzerine yapılan gölde karışım meydana getirebilecek en düşük rüzgâr hızı 4 m/s (Schladow ve Thompson, 2000). Hartwell Gölü ile ilgili yapılan çal- ışımlarda rüzgâr hızında gölün stabilitesi azalmaya başlamıştır. Bu da göld e olduğu için olduğunu göstermektedir (Elçi ve diğerleri, 2007).

5. TABAKALAŞMANIN NÜMERİK MODEL YARDIMIY İRDELENMESİ

Tahtalı Gölü'nde, Ağustos ve Kasım aylarına ait sıcaklık öl- ümü gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, Ağustos ayında su yüze- de tabakalar daha soğuk ve 15°C'dir. Aradaki 12°C'lik fark su sütunur- ünde Tabakalaşmanın olduğu bölge, su yüzeyinden yaklaşık olarak 10 m e- nderdir. Kasım ayında ise sıcaklık profili düşeyde sabit ve 15°C'dir. Kasım- ın bağımlı olarak, göl suyunda karışım meydana gelmiştir tabakalar kalmamıştır. Tahtalı Gölü'nde, tabakalaşmanın su sütununda hı- ız etkilediği de araştırılmıştır (Şekil 8). Göl, tabakalaşma olan ve olmı- ayan ayların gösterdiği davranışlara göre iki farklı biçimde nümerik olarak

Denklem (1) kullanılarak, Tahtalı Gölü için Ağustos, Ekim ve Kasım ayları için L_N değeri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, tabakalaşma için kritik değer 3 bulunmuştur ve bu kritik değere karşılık gelen rüzgâr hızı, 3 m/s'dir. Ağustos ayının, % 18'lik zaman diliminde L_N değeri kritik değerinin altında kalmıştır. Ekim ayında bu oran % 33'e yükselmiş ve son olarak Kasım ayının tamamında L_N kritik değerinin altında kalmıştır. Bu durum, Kasım ayı itibarı ile Tahtalı Gölü'nde tabakalaşmanın kalmadığının göstergesidir. Tahtalı Gölü'ndekine benzer olarak, Toolik Gölü (Alaska/USA), 1 m/s rüzgâr hızı ile stabildir ve gölde karışım olabilmesi için en az 7 m/s rüzgâr hızı gerekmektedir (MacIntyre, 2003). Nevada ve California arasında kalan Tahoe Gölü üzerine yapılan başka bir çalışmada ise, gölde karışım meydana getirebilecek en düşük rüzgâr hızı 4 m/s olarak tespit edilmiştir (Schladow ve Thompson, 2000). Hartwell Gölü ile ilgili yapılan çalışmada ise, ancak 18 m/s rüzgâr hızında gölün stabilitesi azalmaya başlamıştır. Bu da gölde yoğun bir tabakalaşma olduğunun göstergesidir (Elçi ve diğerleri, 2007).

5. TABAKALAŞMANIN NÜMERİK MODEL YARDIMIYLA İRDELENMESİ

Tahtalı Gölü'nde, Ağustos ve Kasım aylarına ait sıcaklık ölçüm sonuçları Şekil 7 ile gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, Ağustos ayında su yüzey sıcaklığı 27°C iken alt tabakalar daha soğuk ve 15°C'dir. Aradaki 12°C'lik fark su sütununu üç tabakaya ayırmıştır. Tabakalaşmanın olduğu bölge, su yüzeyinden yaklaşık olarak 10 m aşağıya denk gelmektedir. Kasım ayında ise sıcaklık profili düşeyde sabit ve 15°C'dir. Kasım ayı mevsim şartlarına bağlı olarak, göl suyunda karışım meydana gelmiştir tabakalar arasında sıcaklık farkı kalmamıştır. Tahtalı Gölü'nde, tabakalaşmanın su sütununda hız profillerini ne şekilde etkilediği de araştırılmıştır (Şekil 8). Göl, tabakalaşma olan ve olmayan (Ağustos ve Kasım) ayların gösterdiği davranışlara göre iki farklı biçimde nümerik olarak modellenmiştir.

Tahtalı Gölü'ndeki tabakalaşma, sıcaklık, rüzgâr ve akım gibi değişkenlere bağlı olarak 3 boyutlu Çevresel Akışkanlar Dinamiği Kodu (EFDC) ile modellenmiştir. EFDC, yüzey su sistemlerindeki akım ve transfer olaylarının ve biyokimyasal özelliklerin üç boyutlu modellenmesinde kullanılan bir programdır. EFDC, ilk olarak, Virginia Institute of Marine Science'da geliştirilmiştir ve birçok alanda test edilip belgelenmiştir (Hamrick, 1996). Hidrodinamik modülün yanı sıra tuzluluğu, ısı transferini, kohezyonlu ve kohezyonsuz katı madde taşınımını, ve noktasal kaynaklardan gelen kirleticilerin taşınımını modelleyebilmektedir. Model sonlu farklar yöntemiyle hareket ve taşınım denklemlerini düşey ve yatay koordinat sisteminde çözebilmektedir.

Modelin doğrulanması amacı ile model sonuçları, gölde yapılan akım ve sıcaklık ölçümleriyle kıyaslanmıştır. Kullanılan model, yatayda 2041 adet aktif (ıslak alanda kalan) hücreden oluşmaktadır. Su kolonu, düşeyde yedi tabakaya bölünerek modellenmiştir ve boyutsuz tabaka kalınlıkları Tablo 1'deki gibidir. Modelde kullanılan hücrelerin x ve y yönündeki uzunlukları her iki yönde de eşit ve 100'er m'dir. Hücre derinlikleri, 1 m ile 27 m arasında değişmektedir.

Tahtalı Gölü'nü besleyen Şaşal ve Tahtalı nehirleri ile ilgili debi ve su kalitesi ölçümleri ADV (Akustik Dopler Hız Ölçer) ile yapılmıştır. Ölçülen nehir debilerinden modelde faydalanılmıştır. Gölden çekilen su ile ilgili bilgiler ise, İZSU tarafından sağlanmıştır. Modelde gerekli olan meteorolojik veri, bu çalışmada faydalanılmak üzere gölde kurulan ve Şekil 1'de de konumu belirtilmiş olan meteoroloji istasyonundan alınmıştır.

Tablo 1. Nümerik modelde kullanılan düşeydeki boyutsuz tabaka kalınlıkları. Tablodaki bir numaralı tabaka numarası, göldeki en alt tabakayı temsil etmektedir.

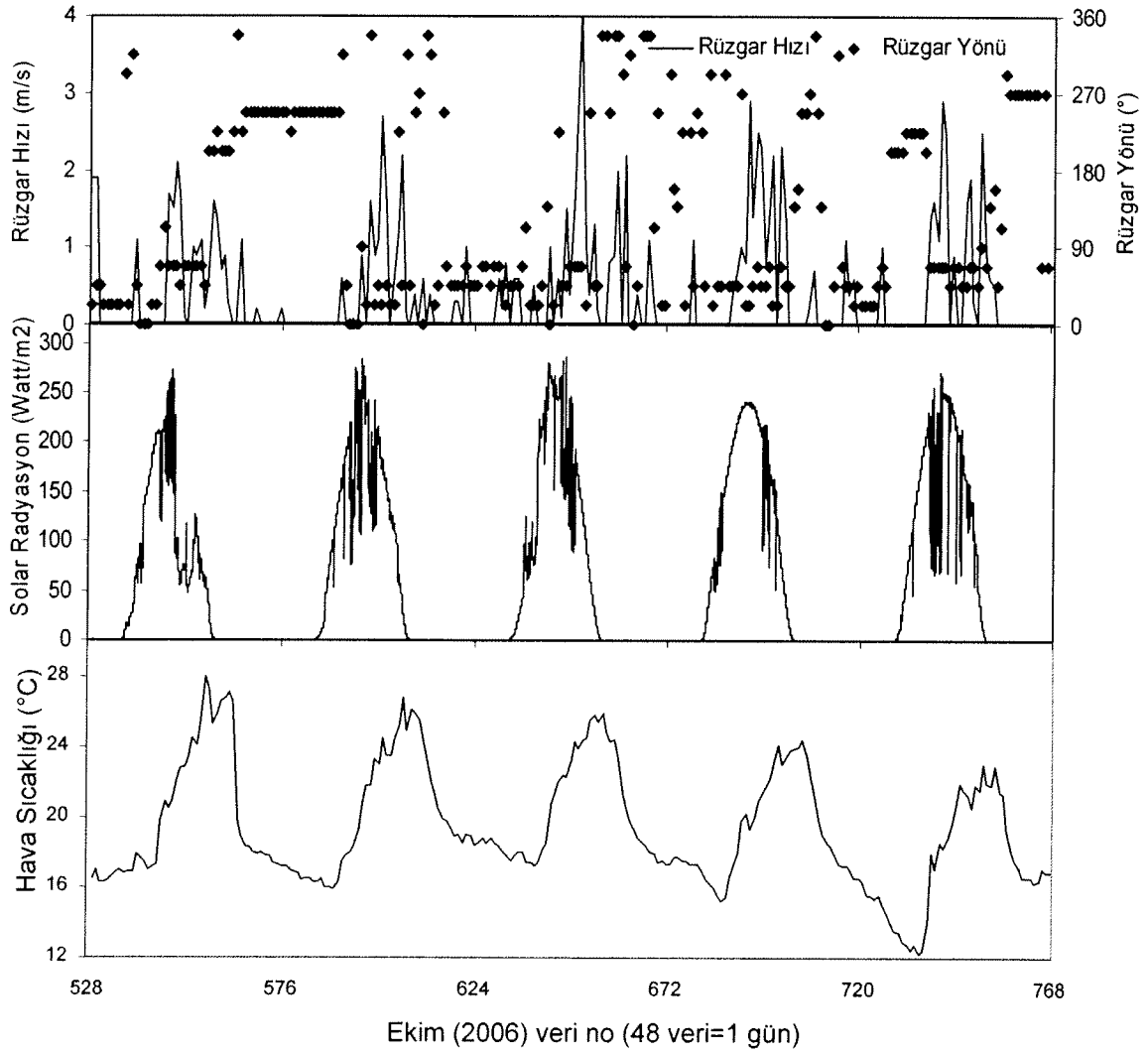
Tabaka No	1	2	3	4	5	6	7
Boyutsuz Tabaka Kalınlığı	0.083	0.25	0.125	0.125	0.167	0.167	0.083

İZSU tarafından sağlanan 1/5000 'lik topoğrafik haritalarda eşyüksekti eğrilerinin göl sınırları içinde taranması ile üretilen derinlik haritası kullanılmıştır. Göle bir şamandıra atılmış ve aylık sıcaklık, su kalitesi ve akım profili ölçümleri bu noktada yapılmıştır.

Modelin uygulanabilmesi için gerekli olan veriler, rüzgâr hızı ve yönü, hava sıcaklığı, solar radyasyon, buharlaşma, nehir debileri ve gölden çekilen sudan ibarettir. Tahtalı Gölü ile ilgili tüm başlangıç koşulları, gölde ölçülmüş olan veriler kullanılarak, modelde tanımlanmıştır (Şekil 14).

Göldeki şamandıra noktasında sabit olarak yapılmış ölçümler ile nümerik model hız sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 15). Grafik sonuçlarına göre, model ve ölçüm sonuçları, üst tabakada kuzey (V) hız vektörleri dışında, birbirine yakın değerlerdedir. Oluşan farklara bakıldığında, 0,05 ile 4,2 cm/s arasında değişen değerler tespit edilmiştir. Tahtalı Gölü için bulunan farklar, literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında, makul değerler oldukları görülmüştür. Örneğin; Rueda ve Schladow (2003)'ün California'da bulunan Clear Gölü'ndeki akım hızları için yaptıkları çalışmadaki karşılaştırmalar sonucu 2 ile 5 cm/s arasında farklar görülmüştür. Elçi ve Work (2007), Georgia'da bulunan Hartwell Gölü için su hızlarını modellemiş ve çıkan sonuçları arazi ölçümleriyle kıyasladıklarında 3,6 ile 6 cm/s arasında

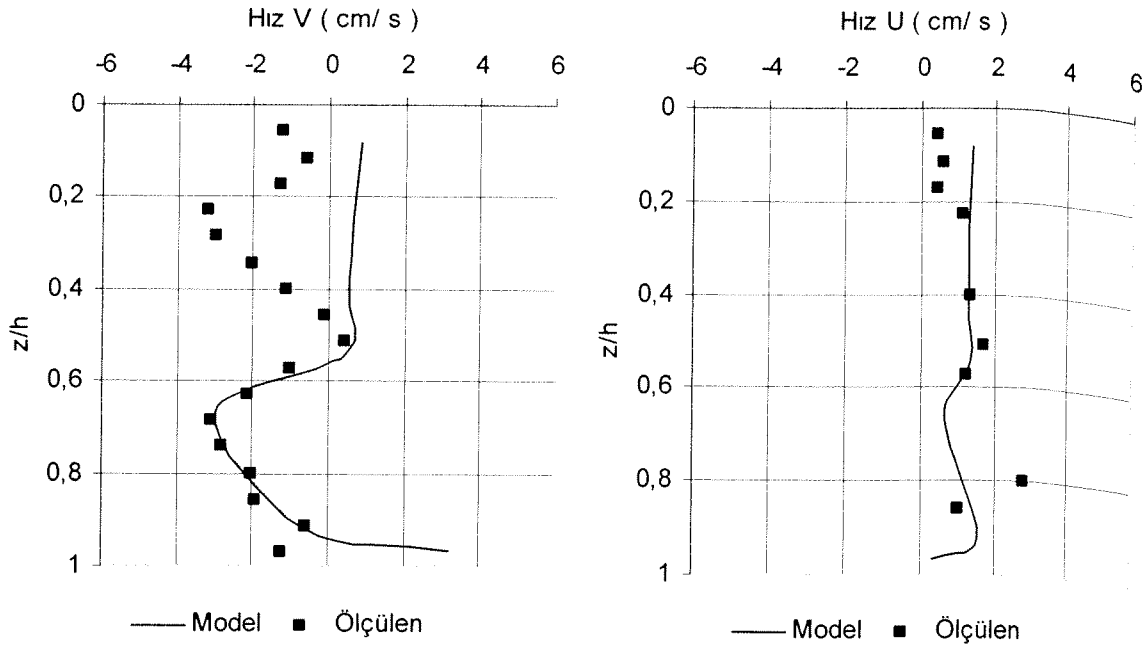
değişen farklar tespit etmişlerdir. Jin ve diğerleri (2000) tarafından Güney Florida'da bulunan Okeechobee Gölü için yapılan bir çalışmada ise bu farklar 1,52 ile 4,76 cm/s arasında değişmiştir.



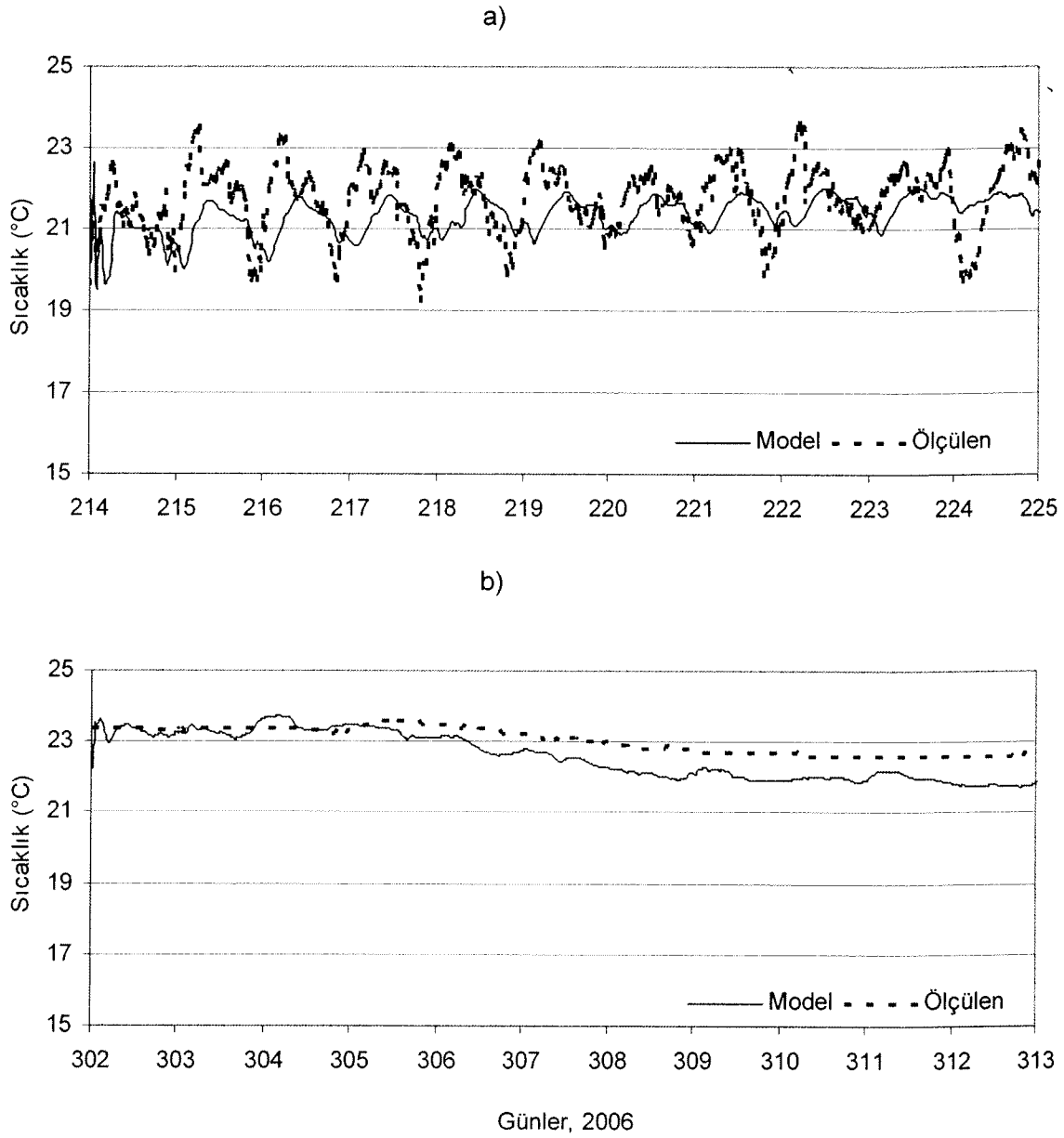
Şekil 14 Tahtalı Gölü'ndeki hava istasyonu kayıtlarından alınan rüzgar, solar radyasyon ve sıcaklık verileri.

Nümerik model ile yerinde ölçülen sıcaklık profillerinin karşılaştırması da yapılmıştır (Şekil 16). Sıcaklık ölçümleri, şamandıra noktasında, su yüzeyinin 11 m altında yapılmıştır. Ölçüm yapılan su sütunundaki bölge, ilgili tarihlerdeki tabakalaşma bölgesine denk gelmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, Ağustos ayı su sıcaklıkları, hava sıcaklıklarında gece ve gündüz arası olan ısınma ve soğuma olaylarından etkilenmiştir. Fakat aynı durum Ekim ayı için geçerli olmamıştır. Ekim ayındaki su sıcaklıkları, hava sıcaklıklarındaki değişimden Ağustos ayında olduğu kadar etkilenmemiştir.

Sıcaklıkla ilgili karşılaştırmalarda, model ve ölçülen data arasındaki hata oranı ortalama karekök yöntemiyle hesaplanmış ve oluşan hataların ortalama sıcaklık değerlerinin % 1'inden az olduğu saptanmıştır (Ağustos için % 0,20 ve Ekim için % 0,10). Çıkan hata oranları literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında, elde edilen değerlerin kabul edilebilir aralıklarda kaldığı görülmüştür. Jin ve diğerleri (2000), Güney Florida'da bulunan Okeechobee Gölü için ortalama karekök yöntemi ile 0,7 değerini bulmuş iken, California'daki Clear Gölü için Rueda ve Schladow'un (2003) yaptığı çalışmada bu değer 0,4'tür



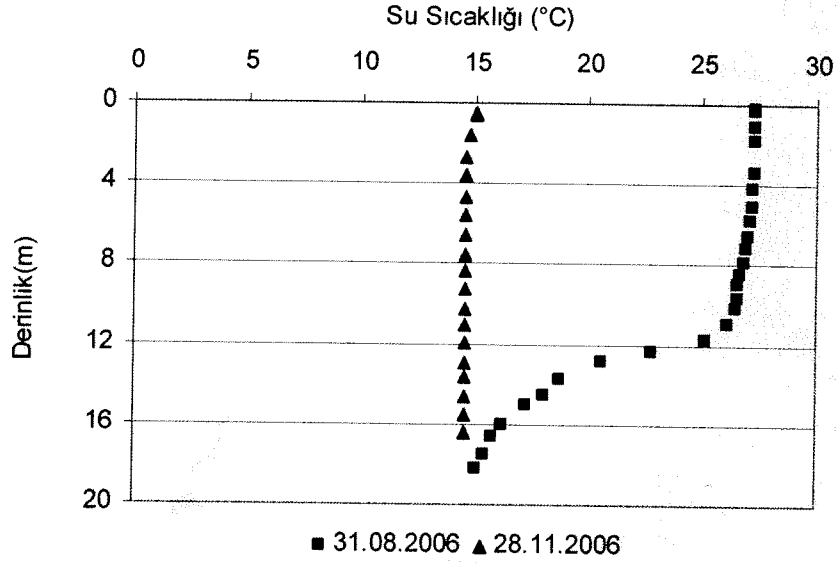
Şekil 15. 28.09.2006 tarihinde ölçülen hız vektörleri ile model hız vektörlerinin karşılaştırılması. z/h boyutsuz derinliktir ve sıfıra eşit olduğu nokta su yüzeyidir.



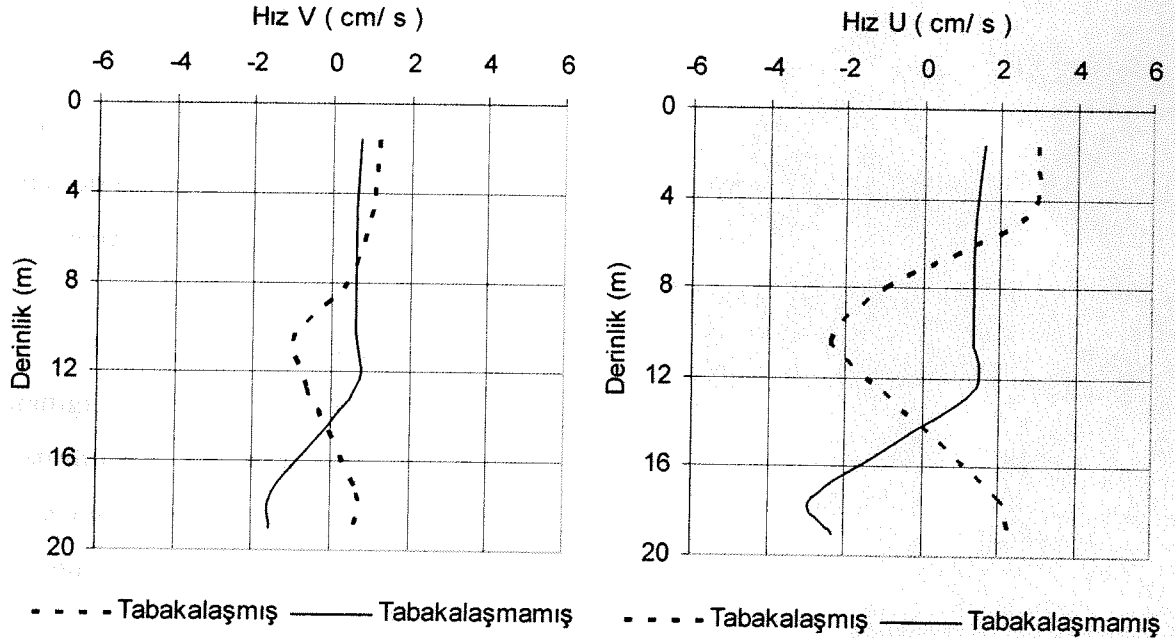
Şekil 16. Su yüzeyinin 11 m altında ölçülen su sıcaklıkları ile model su sıcaklıklarının karşılaştırılması. (a) grafiği Ağustos ayına ait ölçümleri, (b) grafiği ise Kasım ayına ait ölçümleri göstermektedir.

Tahtalı Gölü'nde, tabakalaşmanın su sütununda hız profillerini ne şekilde etkilediği EFDC modeli kullanılarak araştırılmıştır. Akım hızları, Şekil 17'de gösterilen su sütunu sıcaklık profilleri kullanılarak tabakalaşma olan ve olmayan (Ağustos ve Kasım) ayların gösterdiği davranışlara göre iki farklı biçimde modellenmiştir. Tabakalaşma olan modelde, hız değerleri tabakalaşma bölgesine kadar (10 m) azalmış ve bu noktadan sonra tekrar yükselmeye başlamıştır (Şekil 18). Hız değerleri, tabakalaşma bölgesine bağlı olarak

değişkenlik göstermiştir. Tabakalaşma olmayan modelde ise, her iki yöndeki hız vektörleri (U ve V), belirli bir derinliğe kadar (12 m) yaklaşık olarak aynıdır ve bu noktadan sonra, derinlik arttıkça, derece derece azalmıştır. Bu grafiklerde de görüldüğü gibi su kolonunda karışım tabakalaşma bölgesinin üzerinde kalmakta aşağı tabakaları etkileyememektedir.



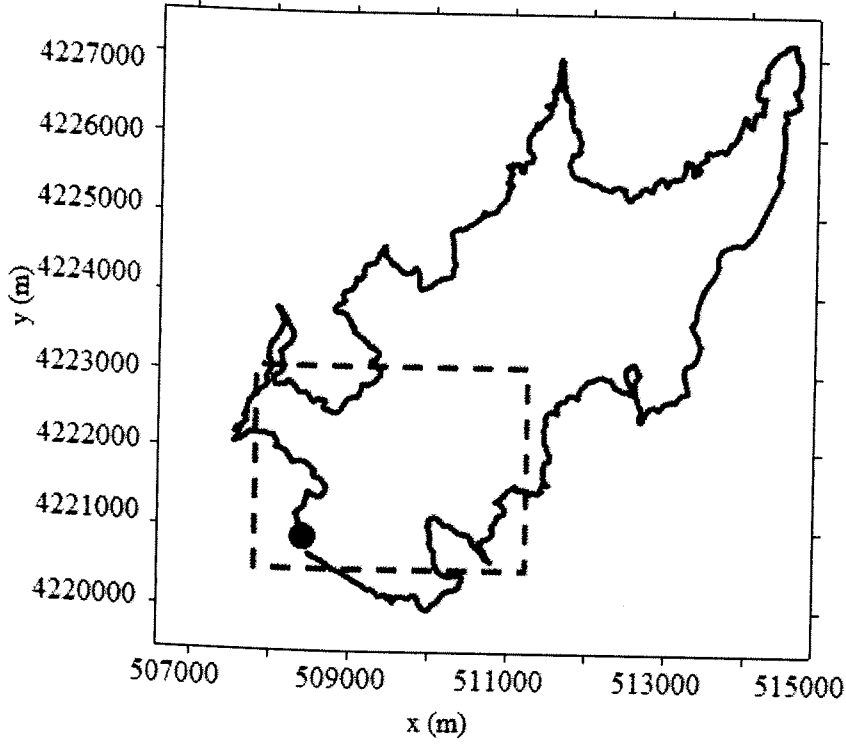
Şekil 17. Ağustos ve Ekim aylarına ait su sıcaklık profillerinin karşılaştırılması.



Şekil 18. Tabakalaşma olan ve tabakalaşma olmayan modellerin hız vektörlerinin karşılaştırılması. U ve V değerleri birbirine dik farklı yönlerdeki hız vektörlerinin ifadesidir.

6. GÖLDEN ÇEKİLEN SUYUN TABAKALAŞMAYA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Tahtalı Gölü'nde, su alma yapısı üzerinde, dört ayrı derinlikte bulunan kapaktan su çekilebilmektedir (Şekil 19). Mevcut kapakların deniz seviyesinden yükseklikleri sırası ile 50, 43, 36 ve 29 m'dir. Kapaklardan 43 m kotunda olanı tabakalaşmış bölge içerisinde kalmaktadır.



Şekil 19. Tahtalı Gölü haritasının modelde kullanılan koordinatlarla beraber gösterimi. Su alma yapısı nokta ile gösterilen yerdedir ve çekilen suyun göldeki etkilerinin araştırılması için modellenen alan kare içerisine alınmıştır

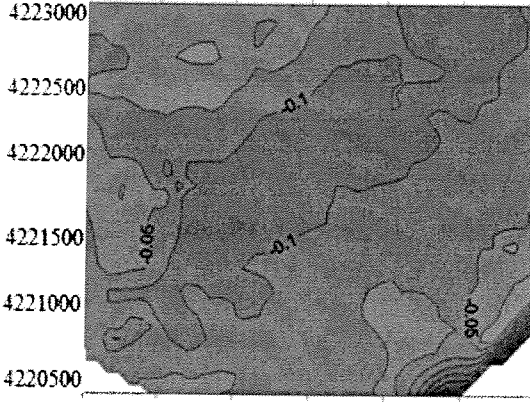
Bu çalışmada, gölden çekilen kullanma suyunun tabakalaşmış bölgede ne gibi etkiler yarattığı ve suda karışım meydana getirip getirmediği, nümerik model kullanılarak araştırılmıştır. Kapakların her birinden su çekilmesi durumu ayrı ayrı ve 12 gün boyunca modellenmiştir. Su sütununda oluşan farkları anlamak açısından, gölden su çekilmeme durumu da modellenmiş ve gölden su çekilmeden önce ve çekildikten sonra su sütununda oluşan sıcaklık farkları incelenmiştir (Şekil 20). Sıcaklık farkları, tabakalaşmış bölgede, suyun çekildiği noktanın 2 km uzağına kadar olan bölgede yatayda incelenmiş ve görülmüştür ki, su 50 m kotundan çekildiğinde, tabakalaşma olan bölgedeki su sıcaklıkları % 0.5 azalmıştır (Şekil 20a). Fakat daha aşağıdaki kapaklardan çekildiğinde (Şekil 20b; 20c; 20d),

su sıcaklıklarının arttığı gözlenmiştir (36 m ve 43 m'den çekilince % 0.5; 29 m'den çekilince % 4). Sonuç olarak, alt kapaklardan su çekildiğinde, tabakalaşmış bölgedeki su sıcaklıklarının yükseldiği, suyun ısınmaya başladığı ve dolayısı ile de bölgede karışım meydana geldiği görülmüştür.

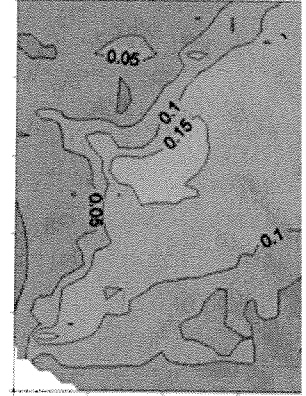
Su çekilmesinin, akım hızları üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Üst kapaktan su çekildiğinde, üst tabakadaki akım hızlarının arttığı (% 34), alt kapaktan su çekildiğinde ise alt tabakadaki akım hızlarının arttığı (% 47) görülmüştür. Suyun, çekildiği bölgedeki akım hızlarını etkilemesi gerektiği düşünülürse, ortaya çıkan model sonuçları da, bu durumu doğrulamaktadır.

Tahtalı Gölü'nde, gölden su çekilmesi ile ilgili yapılan modelleme sonuçlarına göre, suyun tabakalaşmış bölgenin altındaki kapaklardan çekilmesi halinde, alt tabaka su sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. Alt kapaklardan su çekilmesinin göldeki su kalitesini arttıracığı söylenebilir. Tahtalı Gölü'nde, suyun 29 m kotundan çekilmesinin en fazla karışımı yarattığı ve tabakalaşma oranını azalttığı düşünülürse, göldeki suyun alttaki kapaktan çekilmesi tavsiye edilebilir.

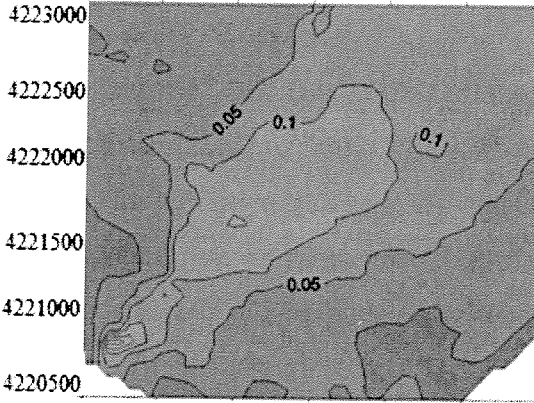
Farklı seviyelerdeki kapaklardan su çekilmesi su kalitesini kontrol eden en etkin ve en yaygın kullanılan metot olmasına rağmen, literatürde baraj göllerinde tabakalaşmayı azaltıcı ve su kalitesini arttırıcı başka yöntemlerde mevcuttur (Dortch, 1997). Bu yöntemlerden hidrolik pompalama tabakalaşmayı azaltmak ya da durdurmak üzere kullanılmaktadır. Yüksek hızlı su jeti oluşturan küçük çaplı difüzörler yerleştirilerek, tabakalaşma altındaki oksijensiz bölgenin, üst katmanlarla karışması sağlanmaktadır. Havalandırma/oksijenleştirme yöntemi ise tabakalaşmayı bozmadan alt katmandaki çözünmüş oksijen miktarını arttırabilmektedir. İnce gözenekli difüzörler yardımıyla alt tabakalara oksijenleştirme yapılmaktadır. Diğer bir yöntem ise birikmiş katı maddenin kazılarak, haznenin derinleştirilmesi ve toksik malzemenin de uzaklaştırılması yöntemidir. Çok etkili olan bu yöntem masraflı olabileceğinden tercih edilmemektedir.



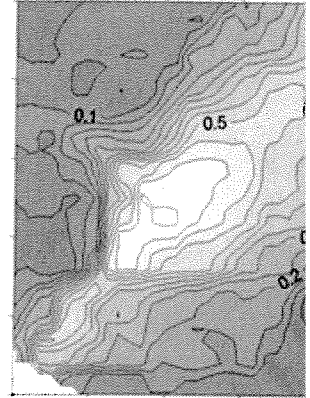
(a) Kapak Seviyesi = 50 m.



(b) Kapak Se

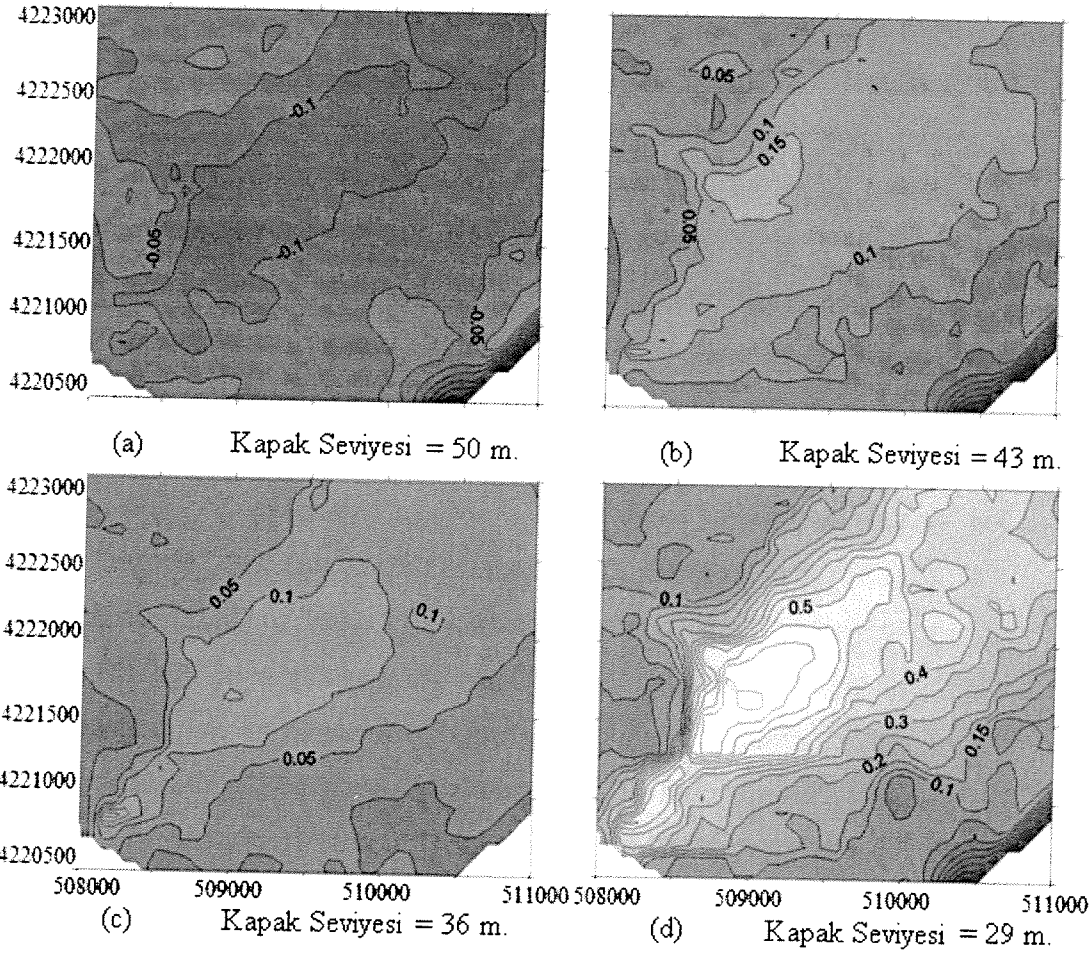


(c) Kapak Seviyesi = 36 m.



(d) Kapak Se

Şekil 20. Su sütununda, tabakalaşmış bölgede oluşan ($h = 44$ m çekilmeden önceki ve sonraki modellerin sıcaklık farkları. Şekilde olan yüksekliği ifade etmektedir. Modellemeler, Ağustos (2006) kullanılarak yapılmıştır. Ağustos ayı içerisinde göldeki su seviyesi $54 = 508000$; $y = 4222500$ koordinatları üzerindedir. Şekilde renkler gittikçe sıcaklık artmaktadır



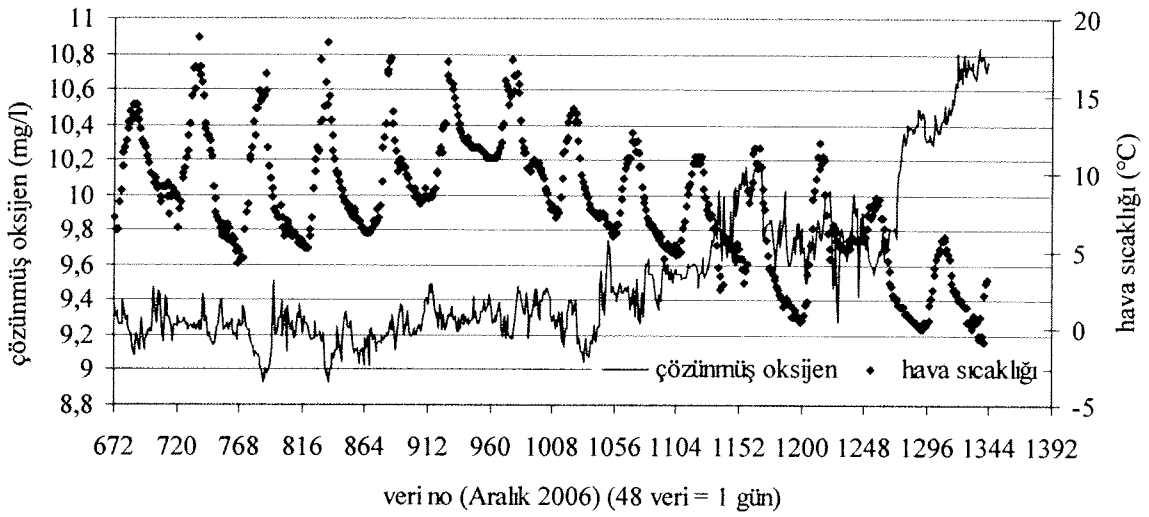
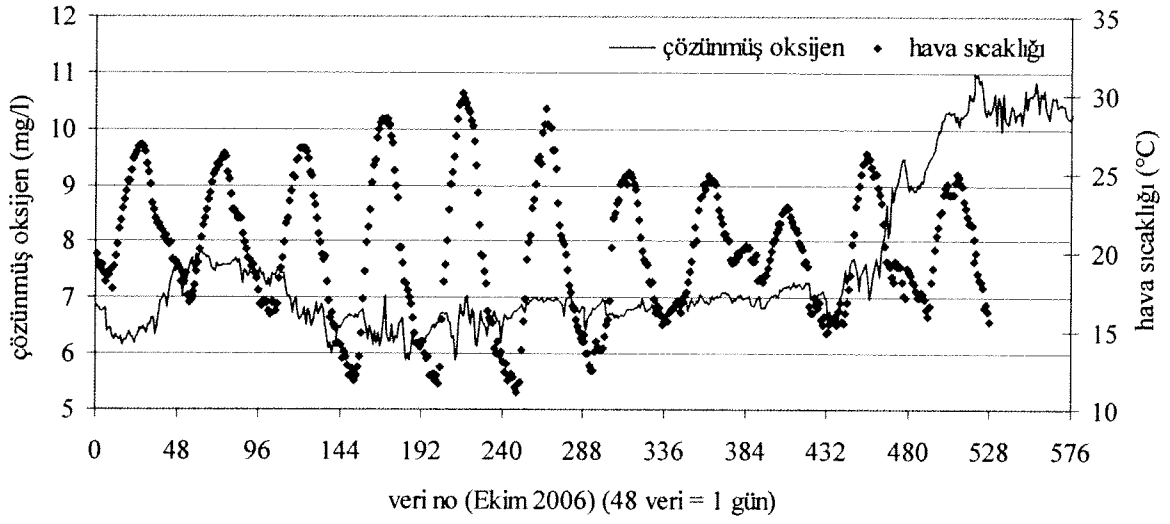
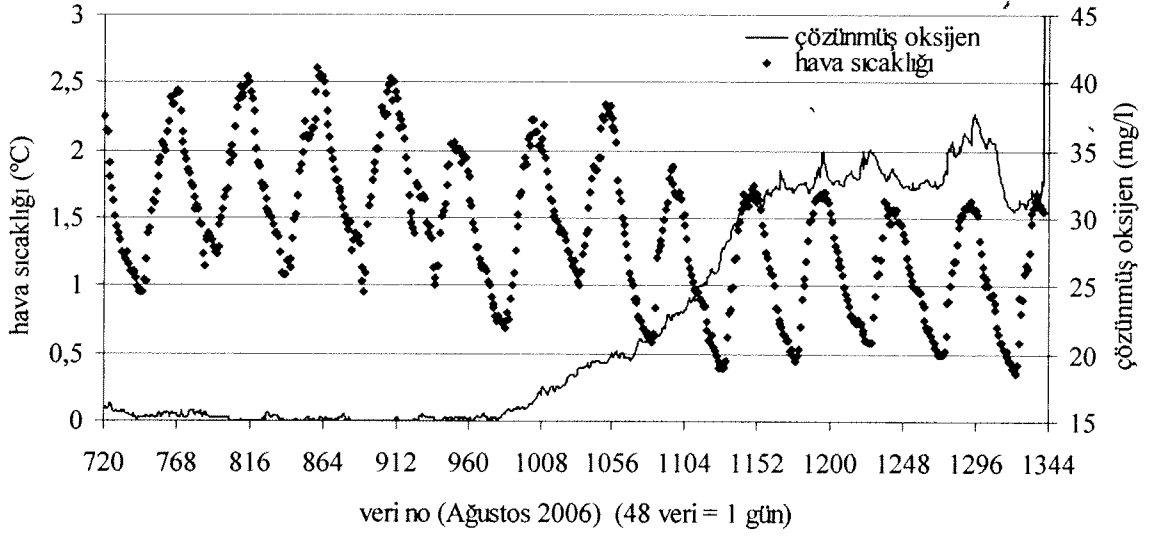
Şekil 20. Su sütununda, tabakalaşmış bölgede oluşan ($h= 44$ m ile $h= 40$ m arası) su çekilmeden önceki ve sonraki modellerin sıcaklık farkları. Şekilde (h), deniz seviyesinden olan yüksekliği ifade etmektedir. Modellemeler, Ağustos (2006) ayına ait iklim şartları kullanılarak yapılmıştır. Ağustos ayı içerisinde göldeki su seviyesi 54 m'dir. Su alma yapısı, $x = 508000$; $y = 4222500$ koordinatları üzerindedir. Şekilde renkler gri tondan beyaz tona gittikçe sıcaklık artmaktadır

7. TABAKALAŞMANIN SU KALİTESİ PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZ YOLUYLA İNCELENMESİ

İstatistiksel analizde kullanılan veriler su kolonunda sürekli yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Tabakalaşmanın en yoğun olduğu Ağustos, karışımın kısmen gözlendiği Ekim ve karışımın tamamlandığı Aralık aylarında su kalitesi ölçer tabakalaşmanın olduğu ~11 m derinlikte uzun süreli (yaklaşık bir ay) ve parametreler her yarım saatte bir kaydedilecek şekilde bırakılarak, su kalitesi parametrelerindeki değişimler araştırılmıştır. Yapılan ölçümler göl kenarına kurulan hava istasyonundan elde edilen verilerle karşılaştırılmış, değişimlerin nedenleri tartışılmıştır.

Şekil 21a, çözülmüş oksijen (DO) ve hava sıcaklığının Ağustos ayında değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere DO değerleri uzun süre 0 iken 1.8'e sıçrama göstermiştir (veri no: 960). Hava istasyonundan elde edilen veriler sıçramanın gözlendiği zaman için gün boyu gözlenen en yüksek sıcaklığın 4.5 °C 'lik bir azalışla 40.1'den 35.6 °C ye düştüğünü, ve en düşük sıcaklığın 3.1 °C 'lik bir azalışla 25'den 21.9 °C ye düştüğünü göstermiştir. Bir gün boyunca gözlenen sıcaklık farkı atmosferde 13.7 °C ve suda 1.7 °C olmuştur. Benzer şekilde Ekim'de de (Şekil 21b) DO değerlerinin 6.6'dan 11 mg/l'ye çıktığı gözlenmiştir (veri no : 432). Burada da gün boyu gözlenen en yüksek sıcaklığın 2.5 °C 'lik bir azalışla 25.5'den 23 °C ye düştüğünü, ve en düşük sıcaklığın 3.2 °C 'lik bir azalışla 18'den 14.8 °C ye düştüğünü göstermiştir. Bir gün boyunca gözlenen sıcaklık farkı atmosferde 8.1 °C ve suda 2 °C olmuştur. Aralık ayında ise (Şekil 21c), DO değerlerinin 9.7'dan 10.5 mg/l'ye çıktığı gözlenmiştir (veri no :1296). Burada da gün boyu gözlenen en yüksek sıcaklığın 3.6 °C 'lik bir azalışla 12'den 8.4 °C ye düştüğü, ve en düşük sıcaklığın 5.7 °C 'lik bir azalışla 5.7'den 0 °C ye düştüğü gözlenmiştir. Bir gün boyunca gözlenen sıcaklık farkı atmosferde 8.5 °C ve suda 1 °C olmuştur.

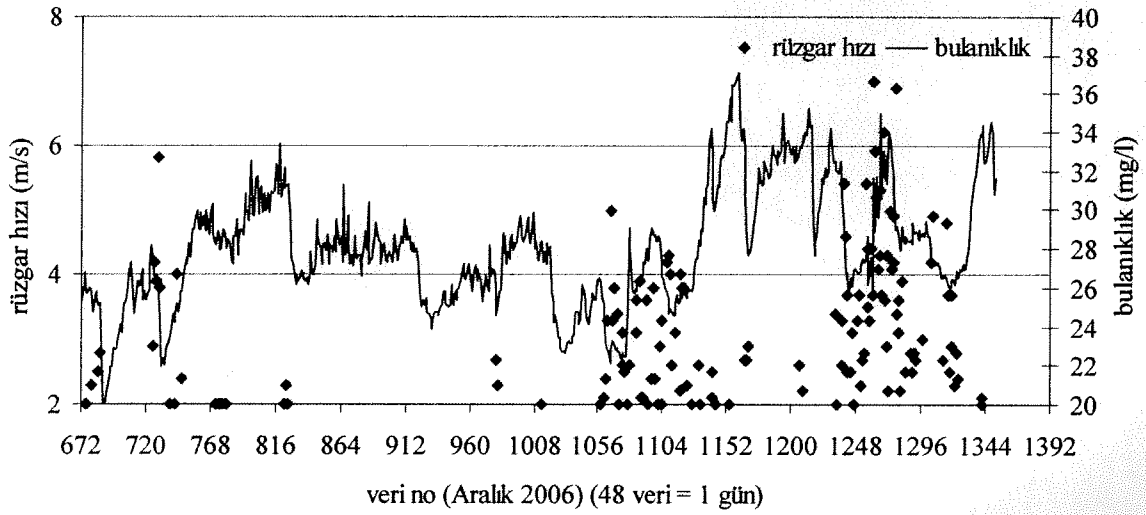
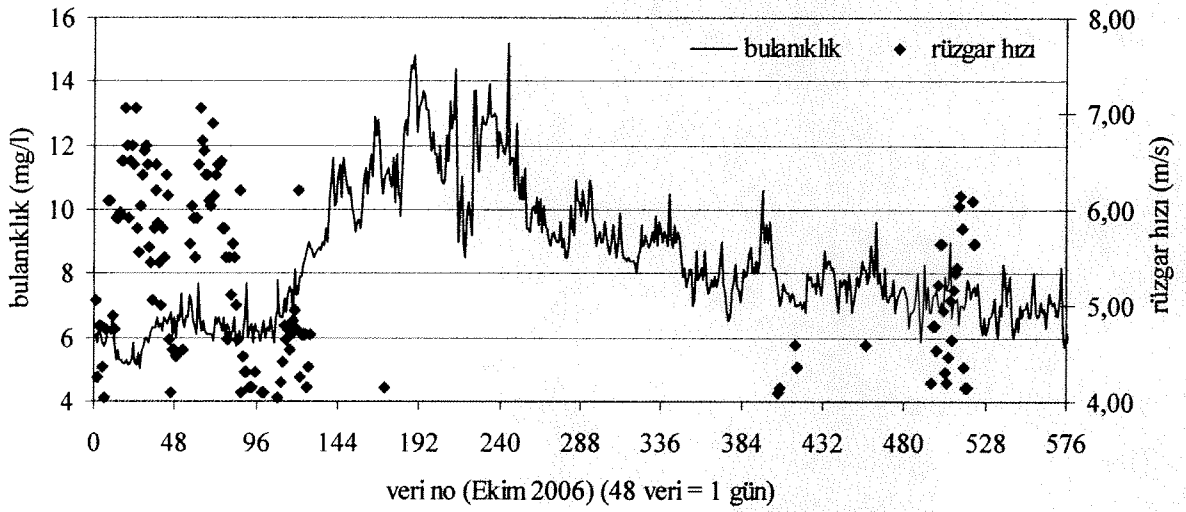
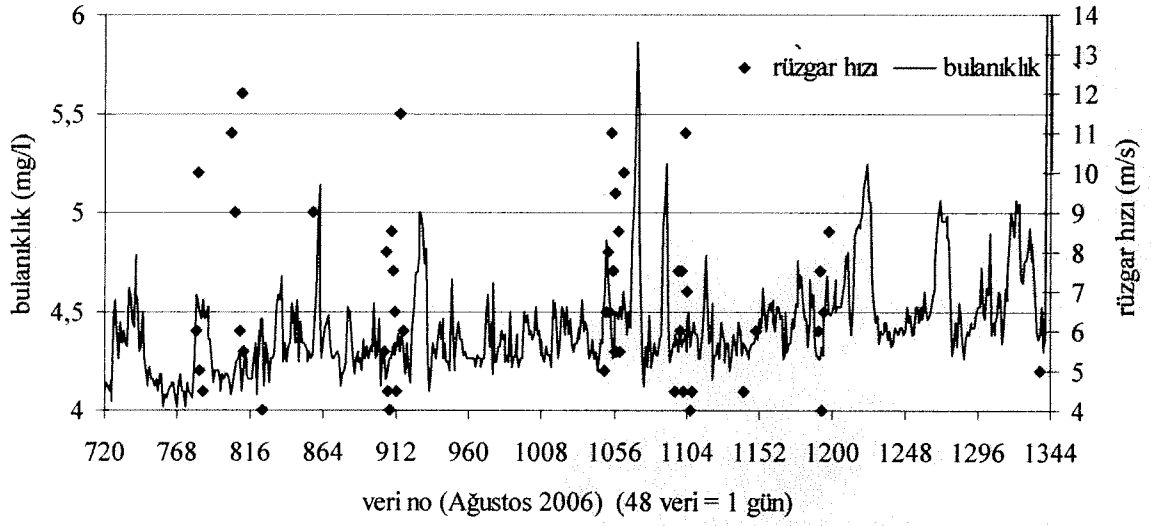
Ağustos ve Ekim aylarında, sıçramanın gözlendiği ölçümlerden bir gün önce rüzgar hızları bu aylar için sırasıyla 4.5 ve 5 m/s olarak ölçülmüş ve buna bağlı olarak, su sıcaklığını da formülünde hesaba katan boyutsuz parametre, göl numarası (L_N), 3 olarak hesaplanmıştır. Ancak bu sıçramalar öncesi de değişik rüzgar koşullarında L_N 'ın birçok kez 3 olduğu düşünülürse tek başına bu parametrenin DO'daki değişimleri açıklayamadığı ve hava sıcaklığını da içerecek bir başka parametrenin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu çalışma ile DO ve diğer su kalitesi parametrelerinin davranışının açıklanmasında meteorolojik verilerin etkisi araştırılmaktadır.



Şekil 21. Sıcaklık ve çözülmüş oksijenin değişimi. Veriler 30 dakikada bir toplanmıştır.

Sekil 22a'de Ağustos ayında su kalitesi ölçer tarafından kaydedilen bulanıklığın hava istasyonu tarafından kaydedilen rüzgar hızıyla olan değişimi görülmektedir. Ağustos ayında hiç yağmur gözlenmediği için grafikteki zirveler (veri no 864, 912 and 1056) bu zirvelerden bir ve iki gün önce esen şiddetli rüzgarlara bağlanabilir. Benzer şekilde Ekim ayında (Şekil 22b) şiddetli rüzgar sonrası bulanıklık 6'dan 14 mg/l ye sıçrama göstermiştir (veri no 48 ve 96). Karışımın tamamlandığı Aralık ayında ise gözlenen bulanıklık değerleri diğer aylara göre daha yüksek olmuştur (Şekil 22c). Grafikte görüldüğü gibi bulanıklık değeri şiddetli esen rüzgarlar ve 3 gün öncesinde yağın 4 mm yağmur neticesinde 26 dan 36 mg/l ye sıçrama göstermiştir (veri no 1152).

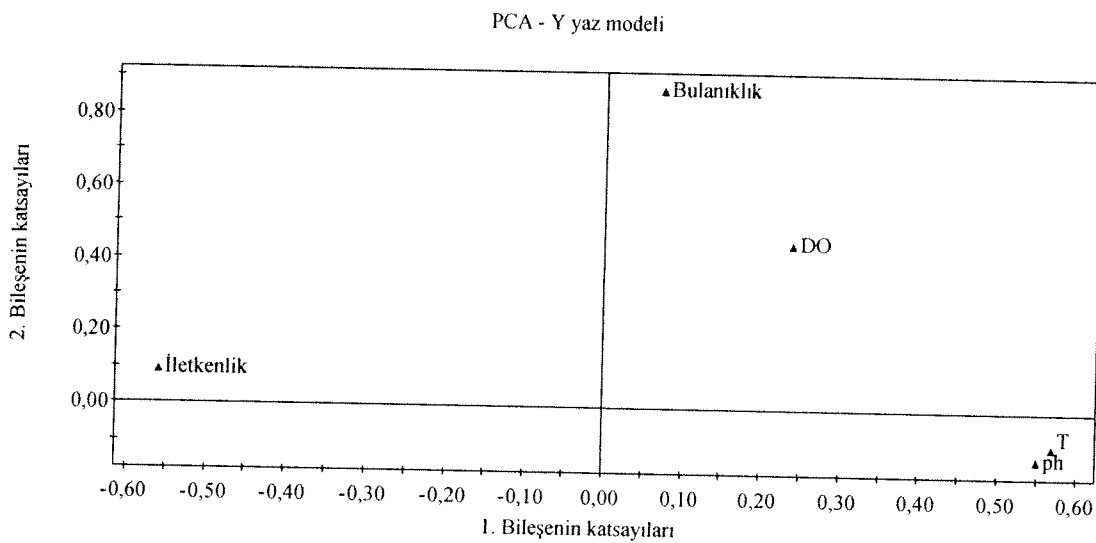
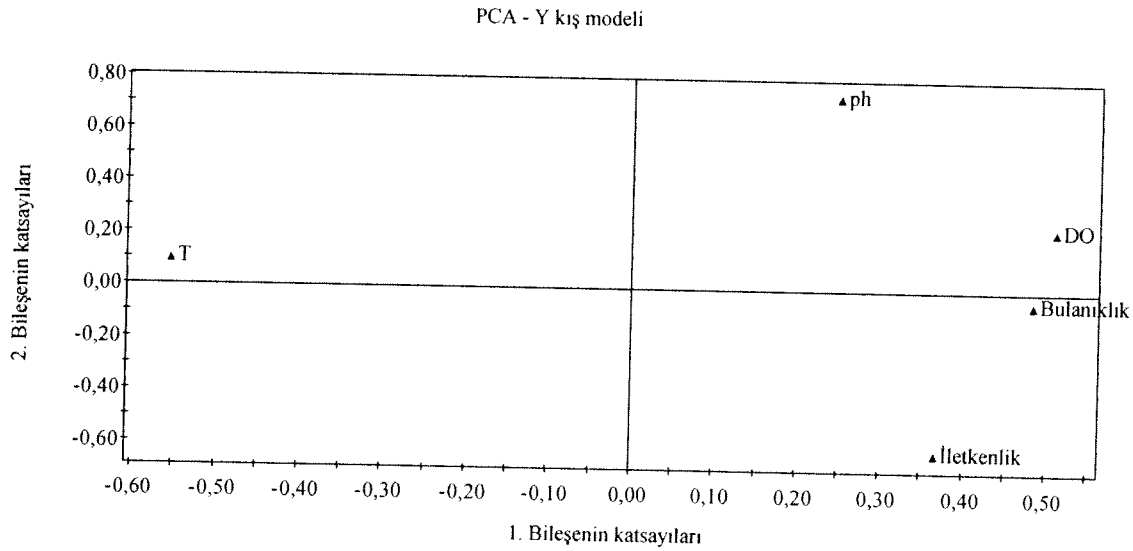
Literatürde sıkça kullanılan boyutsuz parametrenin su kalitesi parametrelerindeki değişimleri açıklamada yetersiz kalışı diğer meteorolojik değişkenlerinde hesaba katılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu sebeple, PH, iletkenlik, çözülmüş oksijen ve bulanıklık gibi su kalitesi parametrelerini meteorolojik parametrelerden hangilerinin etkilediğini araştırmak amacıyla hava sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, gecikmeli rüzgar hızı, nem ve hava basıncı verilerinden oluşan bir veri matrisi kullanılarak çoklu değişken analizi yapılmıştır. Analizde kullanılacak yeterli yağış verisi olmadığından (gözlem süresi boyunca sadece iki kere yağış gözlemlendi) yağış verileri analizde kullanılmamıştır. Veri matrisi ayrıca 24 saat gecikmeli rüzgar verileri ve 24 saatlik hava sıcaklığı farkı verilerini de içermektedir. Gecikme ve fark için kullanılan zamanlar verilerin görsel ve istatistiksel incelenmesi sonucunda karar verilmiştir.



Şekil 22. Rüzgar hızı ve bulanıklığın oksijenin değişimi. Veriler 30 dakikada bir toplanmıştır.

Temel Bileşenler Analizi (PCA) ve En Küçük Kareler (PLS) Analizi kullanılarak oluşturulan modeller sayesinde parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiş, su kalitesi parametrelerinin değişiminde en etkili olan değişkenler belirlenmiştir. PCA ve PLS modellemesinde Simca P+ 10.5 programı (Umetrics, Sweden) kullanılmıştır.

Veri setleri arasındaki iç ilişkileri tanımlamada etkin bir analiz olan PCA su kalitesi parametrelerine uygulanmıştır. Kış modelinde, su sıcaklığı pH, iletkenlik, çözülmüş oksijen ve bulanıklık ile ters orantılı olarak ilişkili bulunmuş, yaz modelinde ise böyle bir ilişki saptanamamıştır (Şekil 23). PCA kış modeli ile değişkenlerin % 88'i tanımlanmasına ve % 73'ü tahmin edilebilmesine karşın, yaz modelinde bu değerler % 80 tanımlanan ve % 46 tahmin edilebilen değerler olarak azalmıştır.

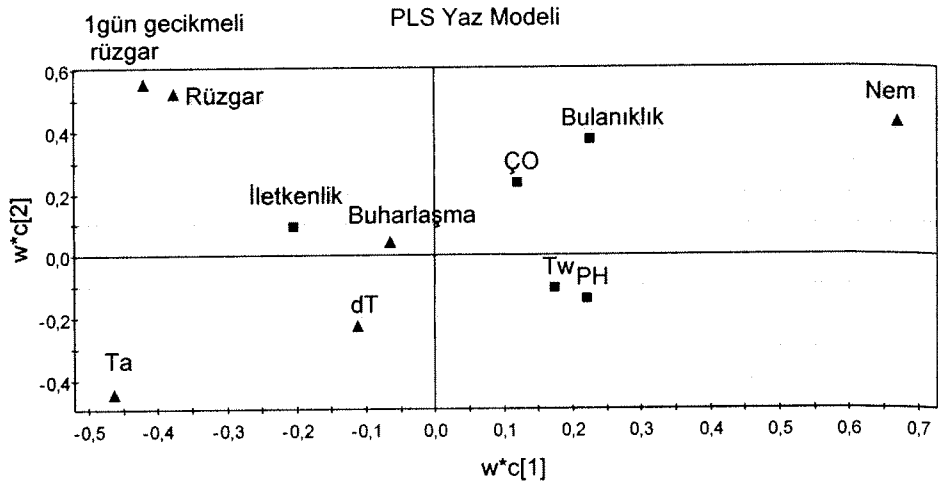
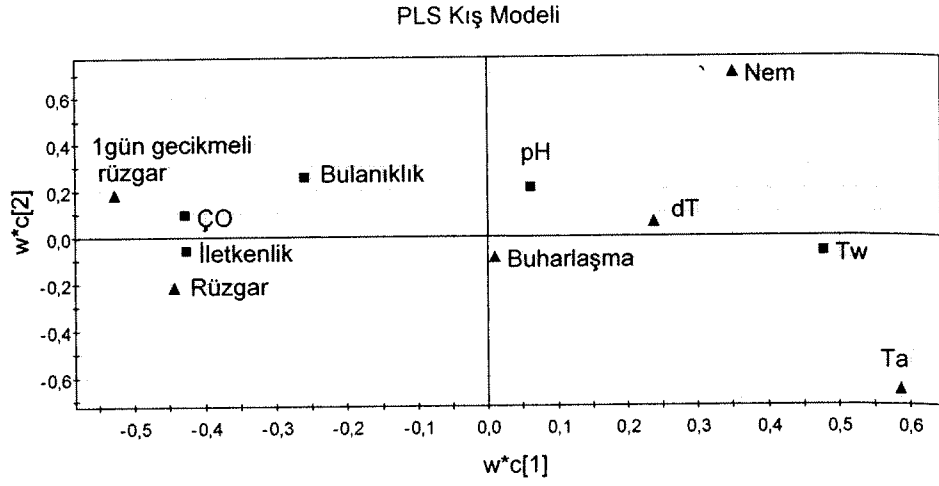


Şekil 23. Bağımlı (X) değişkenleri (su kalitesi parametreleri) arasındaki korelasyon

En Küçük Kareler (PLS) Analizi, bağımlı Y değişkenlerini (su kalitesi parametreleri), bağımsız X değişkenleri (hava sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, gecikmeli rüzgar hızı, nem ve hava basıncı) ile ne kadar açıklanabildiğini modellemekte ve bağımsız X değişkenlerinin kendi arasındaki iç ilişkilerinin derecesini göstermektedir. PLS modelinin ilk bileşeni ikinci bileşene göre daha fazla varyansı açıklayabildiğinden burada sadece ilk bileşenin katsayıları tartışılmıştır.

PLS analizi sonucunda modelin katsayılarını gösteren ve her bir değişkenin önemini özetleyen grafikler elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, rüzgar yönünün su kalitesi parametrelerinin açıklanmasında etkin bir parametre olmadığı saptanmıştır. Kış modelinde hava sıcaklığı ve bir gün gecikmeli rüzgar hızı en etkin rol oynamakta, yaz modelinde ise nem ve hava sıcaklığı ile bir çok parametre açıklanabilmektedir. Şekil 24 bağımlı (X) değişkenleri ile bağımsız (Y) değişkenleri arasındaki korelasyonu göstermektedir. Şekilde aynı eksen doğrultusunda yerleşmiş değişkenler birbirleri ile ilişkilidir. Kurulan kış modeli su kalitesi parametrelerindeki değişimi % 52 oranında, yaz modeli ise % 71 oranında açıklayabilmektedir. İki modelde de hava sıcaklığı ve bir gün gecikmeli rüzgar hızı etkili olmuş, yaz modelinde bunlara ilave olarak nem etkin rol oynamıştır.

Bağıntıların açıklanmasında katsayı ve önemlilik derecesi grafikleri kullanılmıştır. Oluşturulan bağıntıların katsayı değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Kış modelinde hava sıcaklığı ve 1 gün gecikmeli rüzgar hızı çözünmüş oksijen ve bulanıklık değerlerini açıklamada en etkin değişkenler olmuş, yaz modelinde ise nem ve hava sıcaklığı etkin rol oynamıştır.



Şekil 24. Bağımlı (X) değişkenleri (su kalitesi parametreleri) ile bağımsız (Y) değişkenleri (meteorolojik veriler) arasındaki korelasyon. Şekillerde Tw su sıcaklığını, Ta hava sıcaklığını, dT günlük sıcaklık farkını göstermektedir.

Tablo 2 Tahtalı Gölü PLS modelinde kullanılan katsayılar

Kış modeli					
	Su sıcaklığı	pH	İletkenlik	Bulanıklık	DO
Hava sıcaklığı	0,22	0,05	-0,21	-0,12	-0,20
Günlük sıcaklık farkı	0,09	0,02	-0,09	-0,05	-0,08
Hava basıncı	-0,14	-0,03	0,14	0,08	0,13
Nem	0,14	0,03	-0,13	-0,08	-0,13
Rüzgar Şiddeti	-0,17	-0,04	0,16	0,09	0,16
24 saat gecikmeli rüzgar hızı	-0,20	-0,05	0,19	0,11	0,18
Yaz modeli					
	Su sıcaklığı	pH	İletkenlik	Bulanıklık	DO
Hava sıcaklığı	-0,11	-0,13	0,12	-0,13	-0,08
Günlük sıcaklık farkı	-0,04	-0,05	0,05	-0,05	-0,03
Hava basıncı	0,02	0,03	-0,03	0,03	0,02
Nem	0,12	0,14	-0,14	0,15	0,09
Rüzgar Şiddeti	-0,05	-0,06	0,06	-0,07	-0,04
24 saat gecikmeli rüzgar hızı	-0,07	-0,09	0,08	-0,09	-0,05

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su kaynaklarının etkin kullanımı ve sürdürülebilir yönetimi günümüzde büyük önem kazanmıştır. Su kaynakları planlama ve yönetiminde öncelikle kaynağın çeşitli etkenler karşısında davranışını anlamak esastır. Bu çalışmada, ısı etkisiyle oluşmuş, farklı yoğunluklu su katmanları bulunan bir baraj gölünde, hidrodinamik çevrimin hidrolojik ve meteorolojik etkenlere karşı davranışı incelenmiş ve modellenmiştir. Sunulan çalışmanın, göl suyunun kalitesinin ve sudaki katı maddenin taşımının modellenmesini içeren çalışmalara temel teşkil etmesi beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında Tahtalı baraj gölündeki su kalitesi ölçümleri, aylık olarak yapılmıştır. Yıl boyunca düşeyde su kalitesi parametrelerinden pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, bulanıklık ve sıcaklık istenilen derinlikte ölçülmüş ve tabakalaşmanın bu parametreleri nasıl etkilediği incelenmiştir. Tabakalaşmanın etkin olarak gözlemlendiği Tahtalı

baraj gölünde de, suyun sıcak olduğu üst bölge ile soğuk olduğu alt bölge arasında tabakalaşmış bölgenin oluştuğu ve bu tabakanın bariyer görevi görerek canlıların yaşaması için gereken çözülmüş oksijen gibi faydalı bileşenleri, üst bölgede tutarak, alt katmanlara ulaşmasını engellediği gözlenmiştir.

Literatürde sıkça kullanılan boyutsuz parametrenin su kalitesi parametrelerindeki değişimleri açıklamada yetersiz kalışı diğer meteorolojik değişkenlerinde hesaba katılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu sebeple, pH, iletkenlik, çözülmüş oksijen ve bulanıklık gibi su kalitesi parametrelerini meteorolojik parametrelerden hangilerinin etkilediğini araştırmak amacıyla hava sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, gecikmeli rüzgar hızı, nem ve hava basıncı verilerinden oluşan bir veri matrisi kullanılarak çoklu değişken analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda hava sıcaklığı ve bir gün gecikmeli rüzgar hızının yanı sıra nemin de su kalitesi parametrelerinin değişiminde etkili olduğu bulunmuştur.

Tahtalı baraj gölünde hidrodinamik çevrim, gölün 3 boyutlu nümerik modeli kurularak modellenmiştir. Model akım hızı ve sıcaklık ölçümleriyle doğrulanmış ve tabakalaşmanın düşeyde akım profilini nasıl etkilediği incelenmiştir. Hız değerleri, tabakalaşma bölgesine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Model sonuçlarına göre su kolonunda karışım tabakalaşma bölgesinin üzerinde kalmakta aşağı tabakaları etkileyememektedir. Nümerik model yardımıyla ayrıca, gölden çekilerek şehre verilen suyun çekilmesi esnasında tercih edilen kapak seviyesinin çevrime ve tabakalaşmanın stabilitesine etkisi incelenmiştir. Buna göre; suyun tabakalaşmış bölgenin altındaki kapaklardan çekilmesi halinde, alt tabaka su sıcaklıklarının arttığı ve suyun 29 m kotundan çekilmesinin en fazla karışımı yarattığı gözlenmiştir. Literatürde baraj göllerinde tabakalaşmayı azaltıcı ve su kalitesini arttırıcı diğer yöntemler araştırılmıştır. Bu yöntemlerden yüksek hızlı su jeti oluşturan küçük çaplı difüzörler yerleştirilerek tabakalaşma altındaki oksijensiz bölgenin üst katmanlarla karışması için kullanılan hidrolik pompalama, ya da, ince gözenekli difüzörler yardımıyla alt tabakalara oksijen sağlayan havalandırma/oksijenleştirme yöntemlerinin Tahtalı baraj gölüne uygulanabileceği düşünülmektedir.

9. REFERANSLAR

- ANOHN V.A., Imberger J., Romero J.R., Ivey G.N., Effect of Long Internal Waves on the Quality of Water Withdrawn from a Stratified Reservoir, *J. Hydraul. Eng.*, 132:11 (1134), (2006).
- APPELGREN, A., Bergstrom, U., Brittain, J., Gallego, Diaz E., Hakanson, L., Heling, R., Monte, L., An outline of a model-based expert system to identify optimal remedial strategies for restoring contaminated aquatic ecosystems, The project MOIRA. ENEA, (1996), Report RT/AMB/96/17.
- BELL V.A., George DG., Moore R.J., Parker J., Using a 1-D mixing model to simulate the vertical flux of heat and oxygen in a lake subject to episodic mixing, *Ecological Modeling*, 190, 41-54, (2006).
- BONNET M., Poulin M., Devaux J., Numerical modeling of thermal stratification in a lake reservoir. Methodology and case study, *Aquat. Sci.*, 62, 105-124, (2000).
- CASAMITJANA X., Serra T., Colomer J., Baserba C., Pérez-Losada J., Effects of the water withdrawal in the stratification patterns of a reservoir, *Hydrobiologia*, 504, 21-28, (2003).
- CESARE GD., Boillat J.L., Schleiss J., Circulation in Stratified Lakes due to Flood-Induced Turbidity Currents, *Journal of Environmental Engineering*, 132:11 (1508), (2006).
- DORTCH, M.S., Water Quality Considerations in Reservoir Management. Water Resources Update, Universities Council on Water Resources, Southern Illinois, University Carbondale, IL (1997).
- ELCI S., Work P.A., Hayter E.J., Influence of Stratification and Shoreline Erosion on Reservoir Sedimentation Patterns, *J. Hydraul. Eng.*, 133 (3), 255-266, (2007).
- HAMILTON D.P., Schladow S.G., Prediction of water quality in lakes and reservoirs: Part I. Model description, *Ecological Modelling*, 96, 1-3, pp. 91-110, (1997).
- HAMRICK, J.M., Users manual for the environmental fluid dynamic computer code, The college of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science Special Report, (1997), 328, 224 pp.
- IMBERGER J., Physical Processes in Lakes and Oceans, *AGU Coastal and Estuarine Studies*, Volume 54 pp 1-18, (1998).
- JIN K.R., Hamrick J.H., Tisdale T., Application of three dimensional hydrodynamic model for Lake Okeechobee, *J. Hydraul. Eng.*, 126(10), 758-771, (2000).

MONTE, L., Hakanson, L., Brittain, J., Prototype models for the MOIRA computerized system. ENEA, (1997), Report, RT/AMB/97/5.

OTTOSSON F., Abrahamsson O., Presentation and analysis of a model simulating epilimnetic and hypolimnetic temperatures in lakes, *Ecological Modelling*, Volume 110, Number 3, pp. 233-253 (21), (1998).

RUEDA F.J., Schladow S.G., Dynamics of Large Polymictic Lake. II: Numerical Simulations, *J. Hydraul. Eng.*, 129(2), 92-101, (2003).

RUEDA F.J., Schladow S.G., Monismith S.G., Stacey M.T., Dynamics of Large Polymictic Lake. I: Field Observations, *J. Hydraul. Eng.*, 129(2), 82-91, (2003).

SCHLADOW S.G., Thompson K.L., Winter thermal structure of Lake Tahoe, *Limnology and Oceanography*, American Chemical Society, Washington, DC, 40(2):359-373, (2001).

STEFAN H.G., X. Fang, Dissolved Oxygen Model for Regional Lake Analysis, *Ecological Modeling*, 71:37-68, (1994).

WATER RESEARCH, Calculating NSF Water Quality Index. Online available at <http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>

10. TÜBİTAK PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 104Y323
Proje Başlığı: Tahtalı Baraj Gölü'nde Hidrodinamik Çevrimin Modellenmesi ve Düşeyde Akım Profiline Sıcaklıkla İlişkilendirilmesi
Proje Yürütücüsü : Yrd.Doç.Dr. Şebnem Elçi Araştırmacılar: Dr. Suzan Gök, Dr. İlker Atış, Aslı Erdenir Sılay
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Gülbahçe Kampüsü 35437 Urla İzmir
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: 1) İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İZSU); 35000 Konak - İzmir 2) Devlet Su İşleri (DSİ) 2. Bölge Müdürlüğü; 35100 Bornova - İzmir
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1.1.2006 ve 1.10.2007
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada, ısı etkisiyle tabakalaşmanın oluştuğu Tahtalı baraj gölünde, hidrodinamik çevrimin hidrolojik ve meteorolojik özelliklere göre nasıl değiştiği gözlemlenmiş ve 3 boyutlu nümerik modeli kurularak modellenmiştir. Ayrıca, gölden çekilerek şehre verilen suyun çekilmesi esnasında tercih edilen kapak seviyesinin tabakalaşmanın stabilitesine etkisi incelenmiştir ve tabakalaşmayı azaltıcı ve su kalitesini artırıcı literatürdeki yöntemler tartışılmıştır. Su kolonunda kalite ölçümleri, aylık olarak yapılmış ve su kalitesi parametrelerini etkileyen parametreler çoklu değişken analizi ile irdelenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Tabakalaşma, Tahtalı, EFDC, hidrodinamik model, su kalitesi, çözünmüş oksijen, bulanıklık, çoklu değişken analizi, ADCP, çekilme etkileri
Projeden Yapılan Yayınlar: 1) Elçi, Ş., 2007. Tahtalı Gölü'nde Tabakalaşma ve Su Kalitesine Olan Etkileri. III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu Bidiri Kitabı, İzmir, 10-14 Eylül 2007. 2) Çalışkan A. and Elçi, Ş., 2007. İklim Değişikliğinin Tahtalı Baraj Gölü Hidrodinamiğine Etkileri, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiri Kitabı. 279-287. 3) Anıl Çalışkan and Şebnem Elçi, 2007. Investigation of the Hydrodynamic Structure in a Stratified Lake: Tahtali. Proceedings of 32nd Congress of IAH, Venice, Italy. Theme A1.a. Hydrodynamics of lakes and reservoirs Paper #320 16 pages. 4) Çalışkan A. ve Elçi, Ş., 2007. Tabakalaşmanın Oluşturduğu Göllerde Hidrodinamik Yapının Ve Su Çekilmesi Etkilerinin Araştırılması. V. Ulusal Hidroloji Kongresi Bidiri Kitabı, Ankara, 5-7 Eylül 2007. 5) Aydın, R. ve Elçi, Ş., 2007. Nehirlerde Askı Halindeki Tortu Taşımının Akustik Metotlarla Tahmini. V. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildiri Kitabı, Ankara, 5-7 Eylül 2007. 6) Şebnem Elçi. Estimation of Suspended Sediment Concentration in Stratified Lakes By Acoustic Methods in Encyclopedia of Lakes and Reservoirs, Geography, Geology, Fairbridge, R.W. Herschy, R.W. (Eds.), Published By Springer, kabul edildi. 7) Şebnem Elçi. Effects of Thermal Stratification and Mixing on Reservoir Water Quality, Limnology, in review. 8) Anıl Çalışkan and Şebnem Elçi, Effects of Selective Withdrawal on Hydrodynamics of a Stratified Reservoir, Water Resources Management, in review.